



DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Zwerggalaxien in kompakten Galaxiengruppen

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Verfasser:	Bakk. Mathias Jäger
Matrikel-Nummer:	a0203181
Studienrichtung:	Magisterstudium Astronomie A 066 661
Betreuer:	Dr. Werner Zeilinger

© Copyright 2009 Mathias Jäger
Alle Rechte vorbehalten

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus anderen Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Wien, am 15. Januar 2009

Mathias Jäger

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	vii
Kurzfassung	ix
Abstract	xi
1 Kompakte Galaxiengruppen	1
1.1 Geschichte der Gruppen	1
1.2 Theorien zu kompakten Gruppen	5
1.2.1 Ungebundene Systeme	6
1.2.2 Gebundene Systeme	7
1.3 Spektroskopische Erfassung der Gruppen	9
1.4 Leuchtkraftfunktionen in kompakten Gruppen	10
1.5 Morphologie in kompakten Galaxiengruppen	13
1.5.1 Elliptische Galaxien	14
1.5.2 Spiralgalaxien	15
1.6 Interaktionen in kompakten Gruppen	15
1.7 Umgebung von kompakten Gruppen	17
1.8 Entwicklung von kompakten Gruppen	18
2 Zwerggalaxien	21
2.1 Typen von Zwerggalaxien	21
2.1.1 Kompakte Blaue Zwerggalaxien	22
2.1.2 Zwergsphäroidale Galaxien	22
2.1.3 Gezeitenzwerge	23
2.1.4 Zwergirreguläre	24
2.1.5 Zwergelliptische	24
2.2 Zwerggalaxien in kompakten Gruppen	25
2.2.1 Arbeit von Mendes de Oliveira	26
2.2.2 Arbeit Krusch	27
2.2.3 Arbeit von Hunsberger	28
2.2.4 Arbeit von Campos	30
3 Daten	31
3.1 Sloan Digital Sky Survey	31
3.2 Source Extractor	34
3.3 Ausgewählte Gruppen	35

3.4	Datenreduktion	35
4	Analysen und Resultate	41
4.1	Entfernungsbestimmung mittels Photometrischer Rotverschiebung . .	41
4.2	Zwerggalaxien im FHD	42
4.3	Morphologiebestimmung mittels Sérsic Profil	46
4.4	Resultate aus dem Auswahlprozess	48
4.4.1	HCG007	49
4.4.2	HCG025	50
4.4.3	HCG037	52
4.4.4	HCG041	52
4.4.5	HCG058	53
4.4.6	HCG059	54
4.4.7	HCG079	54
4.4.8	HCG088	55
4.5	Morphologie der Zwerggalaxien	55
4.6	Räumliche Verteilung	58
4.7	Anzahldichte	59
4.8	Leuchtkraftfunktion	61
4.9	Projizierte Masse und Radius	64
5	Diskussion	67
5.1	Morphologie im FHD	68
5.2	Morphologie mit Sérsic	70
5.3	Anzahl der Zwerggalaxien pro Gruppe	71
5.4	Räumliche Verteilung und Anzahldichte	72
5.5	Ermittelte Leuchtkraftfunktion	74
5.6	Massenabschätzung und Ausdehnung	75
6	Ausblick	79
A	Farben-Helligkeits-Diagramme	81
B	Räumliche Verteilung	91
C	Entfernung der Zwerggalaxien	101
D	Leuchtkraftfunktionen	111
E	Geschwindigkeiten	115
F	Objektliste	119
	Literaturverzeichnis	135
	Lebenslauf	143

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen Personen danken, ohne die mein Studium und diese Arbeit wahrscheinlich nie zustande, oder zumindest zu einem Ende gekommen wären.

Mein Dank gilt vor allem meinem Betreuer Dr. Werner Zeilinger, der während der beiden Jahre, in denen diese Diplomarbeit entstanden ist, stets ein offenes Ohr und eine offene Tür für noch so triviale Fragen meinerseits hatte und sich immer bemühte auftretende Probleme mit mir gemeinsam zu lösen. Gleich anschließend sollte an dieser Stelle noch Dr. Dominik Bomans von der Universität Bochum genannt werden, der mir freundlicherweise mit seinem Wissen zu Zwerggalaxien in kompakten Gruppen oft weiter geholfen hat.

Ohne meine Mutter allerdings, wäre ich wahrscheinlich nicht einmal bis zum Beginn dieser Arbeit gekommen. Obwohl sie von der Wahl dieses eher ausgefallenen Studiums nicht sehr begeistert war, hat sie mich doch sowohl moralisch, als auch finanziell, immer unterstützt den Weg zu beschreiten, den ich gehen wollte. Selbst dann noch, als dieser Weg etwas länger dauerte, als ursprünglich geplant war.

Nicht vergessen werden sollten auch die zahlreichen Kollegen, die im astronomischen Institut in Wien studieren oder studierten: Thesa, Lisy, Mary, Gerald, Hans, Hatsch, Armin, Ruth, Gela, David, Marco, Adrian, Ingo. Sie alle standen immer für fachlichen Austausch, Hilfe beim Schreiben in Latex oder beim Arbeiten mit Linux und natürlich auch für viele aufbauende Worte zur Verfügung. Es darf natürlich auch nicht vergessen werden, dass wir auch sehr viel Spaß hatten! Es ist schön sich in einem Institut zu wissen, in dem so gute Zusammenarbeit möglich ist.

An letzter Stelle hier, aber keineswegs in der Wichtigkeit, seien noch zahlreiche Verwandte und Freunde genannt, die nie das Vertrauen daran verloren, dass ich doch noch einmal zu einem Ende kommen würde. Vor allem meine große Verwandtschaft sorgte mit leichtem Druck für ein möglichst rasches Ende des Studiums - auch wenn es zum Teil Eigennutz war, wollen sie doch alle endlich den ersten Magister in der Familie haben. Helga und ihrem verstorbenen Mann Wolfgang danke ich für die stete moralische Unterstützung und die Begeisterung an der Wissenschaft, die sie mir vermittelt haben. Christine für die Möglichkeit jeden Sommer und auch dazwischen so manches mal, flexibel und lukrativ arbeiten zu können.

Bei den vielen genannten Personen hier, stellt sich schon fast die Frage, was ich an dieser Arbeit noch geleistet habe. Aber ich möchte niemanden ungenannt lassen, denn jeder von ihnen war wichtig, dass ich in meinem Leben bis hierher gekommen bin und diese Diplomarbeit ihr schlussendliches Bild erhalten hat.

Kurzfassung

Um die physikalische Beschaffenheit von kompakten Gruppen besser zu verstehen, wurden mit Hilfe der Daten des *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS) acht ausgewählte kompakte Gruppen aus dem Hickson-Katalog bezüglich ihrer Zwerggalaxienpopulation untersucht. Um Falschklassifizierungen zu vermeiden, wurden die Aufnahmen der SDSS mit Hilfe der Programme SExtractor und IRAF separat untersucht, wodurch einige als Galaxien fehlklassifizierte Sterne ausgesondert werden konnten.

Jene Galaxien, welche sämtliche Auswahlkriterien erfüllten und demnach mit hoher Wahrscheinlichkeit zur Gruppe gehörig sind, wurden aufgrund ihrer Lage im Farben-Helligkeitsdiagramm und mit Hilfe des Sérsic-Parameters morphologisch bestimmt. In vorhergehenden Arbeiten wurde eine überwältigende Mehrheit an elliptischen Galaxien innerhalb der Gruppen gefunden. Dies konnte jedoch nicht gefunden werden. Auch wenn die gefundenen Zwergelliptischen Galaxien, mit Ausnahme einer Gruppe, überall mehr als 50% der Zwerggalaxienpopulation ausmachen.

Eine Betrachtung der projizierten räumlichen Verteilung der Zwerggalaxien rund um das Gruppenzentrum brachte keine Erkenntnisse. Ein erstelltes Dichteprofil für jede Gruppe zeigte wiederum, dass sich die als Zwergelliptisch klassifizierten Galaxien in den Kernregionen der Gruppen häuften, wohingegen die Zwergirregulären Galaxien von den Kernen bis hinaus an den Rand der untersuchten Bereiche erstreckten. Diese Verteilung deutete bereits auf gebundene Systeme hin, welche in größeren Strukturen eingebettet sind.

Eine Erstellung einer Leuchtkraftfunktion für alle untersuchten Gruppen zeigte, dass am dunklen Ende der Funktion mit großer Wahrscheinlichkeit noch Zwerggalaxien zu finden sind, welche mit Hilfe der SDSS jedoch nicht erfasst werden konnten.

Aufgrund der erhaltenen Dichteverteilung der Galaxien wurde mittels Daten aus der NED-Datenbank noch eine Abschätzung der projizierten Masse und des Radius vorgenommen. Dies zeigte, dass kompakten Gruppen, wiederum mit einer Ausnahme, Massen aufweisen, die in der Größenordnung von offenen Gruppen liegen. Dazu passten auch die erhaltenen Radien, welche zwischen einem und drei Mpc lagen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen darauf schließen, dass die meisten kompakten Gruppen in größere Strukturen eingebettet sind, auch wenn es vereinzelte isolierte Systeme zu geben scheint. Auf jeden Fall wurde auch in dieser Arbeit bestätigt, dass kompakte Gruppen physisch gebundene Systeme sind. Detaillierte Untersuchungen, ob es wirklich zwei Typen von kompakten Gruppen gibt, oder der große Unterschied in den Radien und Massen der Gruppen eine andere Ursache hat, könnte die Basis für zukünftige Arbeiten auf diesem Gebiet sein.

Abstract

For the better understanding of the physical nature of compact groups, the dwarf galaxy population of eight selected compact groups from the Hickson catalogue was studied. For the thesis the data from the Sloan Digital Sky Survey (SDSS) was used. To avoid false classification through the SDSS, the data was reduced a second time by using the programs SEctractor and IRAF. Some stars which were classified as galaxies through the SDSS could be excluded this way.

The galaxies which achieved all selection criteria were morphological classified due to their position in the colour-magnitude-diagram and due to their Sérsic-parameter. It could not be found the expected overwhelming majority of dwarf elliptical galaxies, even though the dwarf ellipticals had a majority above 50% in all, except one, group.

The analysis of the density profile of the dwarf galaxy population showed a clear concentration of the dwarf ellipticals towards the center of the groups. The dwarf irregulars in contrast could be found everywhere in the groups, from the center out to the borders of the analyzed regions. This distribution is a sign, that compact groups are bound systems, which were embedded in larger structures.

A created luminosity function for all observed groups showed, that, with high probability, there are still dwarf galaxies missing at the faint end of the function. It is to assume, that these galaxies are too faint for the quite small SDSS-telescope.

Due to the plotted density distribution of the dwarf galaxies, an estimation for the projected mass and the zero velocity surface radius was calculated. The results showed, that the masses of compact groups are quite the same as the masses of loose groups. The radii, which were calculated between one and three Mpc, suit to these results.

The results of this thesis lead to the conclusion, that most of the compact groups are embedded in larger structures, even though there seem to be some isolated systems. But all observed groups are definitely physically bound systems. Detailed analysis, if there are two types of compact groups, or if the big differences in radius and mass have another cause, can be the base for further work.

Kapitel 1

Kompakte Galaxiengruppen

1.1 Geschichte der Gruppen

Die erste kompakte Galaxiengruppe wurde vor über Einhundert Jahren von Stephan beobachtet, als er den Katalog *Nébuleuses nouvelles découvertes et observées à l'Observatoire de Marseille* erstellte. Heute ist diese Gruppe als Stephan's Quintett bekannt [STEPHAN 1877]. Stephan machte diese Aufnahmen von dieser ersten kompakten Gruppe mit dem 40-cm Refraktor des *Observatoire de Marseille*. Die Gruppe, die er damit fand, beinhaltete fünf Galaxien, wobei drei von ihnen klare Anzeichen von Wechselwirkung untereinander aufwiesen.

Eine zweite, ebenfalls sehr bekannte kompakte Gruppe, wurde mehr als 70 Jahre später von Seyfert entdeckt [SEYFERT 1948]. Diese Gruppe war sehr kompakt und ist bis heute eine der kompaktesten Gruppen, die bekannt sind. Seyfert entdeckte die Gruppe, als er photographische Platten der H-Serie des Harvard Schmidt Teleskops durchmusterte.

Der nächste Höhepunkt in der Erforschung der kompakten Gruppen war das *Palomar Sky Survey*, kurz POSS genannt. Für diese Durchmusterung stand das 47-inch Teleskop vom Palomar Observatorium sieben Jahre lang zur Verfügung. Die Aufnahmen erfassten den gesamten Nordhimmel und wurden sowohl im blauen, als auch im roten durchgeführt. Letztendlich umfasste die Durchmusterung 1758 Photoplatten. Bis heute sind aus dieser Durchmusterung zwei Kataloge entstanden, die beide auf sichtbaren Interaktionen der Gruppenmitglieder untereinander basieren: Der *Atlas of Interacting Galaxies* [VORONTSOV-VELYAMINOV 1959] und der *Atlas of Peculiar Galaxies* [ARP 1966].

Arp ergänzte die detektierten peculiaren Galaxien von POSS durch die Daten von Vorontsov-Valyaminov, [ZWICKY et al. 1961] und etliche andere Autoren. Zusätzlich vergrößerten Photoplatten vom Mount Wilson die Suche. Wie bereits der Name des Atlas sagt, war es das Ziel der Suche, peculiare Galaxien zu finden und sie zu klassifizieren. Da die Galaxien in kompakten Gruppen sehr oft peculiar sind, wurden auf diese Art und Weise etliche neue Gruppe gefunden.

Beide Atlanten beinhalteten - neben dem bereits bekannten Stephan's Quintet und dem Seyfert Sextet - viele neue kompakte Gruppen.

Zwischen 1973 und 1980 fanden Shakhbazian und andere Astronomen in mehr als 200 POSS-Platten - welche 18% des gesamten Himmels darstellten - 376 neue

komakte Gruppen und sie präsentierten ihre Ergebnisse in einer ganzen Serie von Arbeiten, welche den Titel *compact groups of compact galaxies* trugen ([SHAKHBAZIAN 1973], [SHAKHBAZIAN und PETROSIAN 1974], [BAIER et al. 1974], [PETROSIAN 1974], [PETROSIAN 1978], [BAIER und TIERSCH 1978], [BAIER und TIERSCH 1979]). Shakhbazian verwendete dabei folgende, noch recht vage, Kriterien für seine Auswahl:

- $5 \leq N < \text{reiche Haufen}$
- ausreichend isolierte und kompakte Gruppe
- die meisten Galaxien müssen kompakt sein.

Zu dieser Zeit war das Interesse an diesen Daten sehr gering. Heute erhalten diese Gruppen mehr und mehr Aufmerksamkeit, obwohl sich mittlerweile herausgestellt hat, dass die meisten von ihnen kleine Haufen zu sein scheinen. Die Proportionen dieser Haufen sind fast ident mit jenen von kompakten Gruppen, und so bleiben die grundlegenden Fragen zu ihnen die gleichen.

Als die ersten Rotverschiebungen für die Mitglieder von kompakten Gruppen gemessen wurden, gab es ein sehr interessantes Ergebnis: Sowohl das Seyfert Sextet als auch Stephan's Quintet beinhalten je ein Mitglied mit einer unterschiedlichen Rotverschiebung [BURBIDGE und BURBIDGE 1961]. Bereits zuvor war bei Stephan's Quintet jedoch spekuliert worden, ob es sich bei NGC 7320 nicht um ein Vordergrundobjekt handeln könnte.

Das Ergebnis der Rotverschiebungen war insofern besonders überraschend, da niemand erwartet hatte, dass Vordergrund oder Hintergrundgalaxien so oft in eine kompakte Gruppe hinein projiziert würden.

Es wurde ebenfalls festgestellt dass die sichtbare und die berechnete Masse von kompakten Galaxien nicht mit dem Virialtheorem in Einklang stand.

$$2E + \Omega = 0 \tag{1.1}$$

Wobei E die kinetische Energie und Ω die potentielle Energie sind. Aufgrund dieser fehlenden Masse schlussfolgerte man, dass kompakte Gruppen nicht über längere Zeit hinweg stabil sein konnten und das System nach mehreren Umdrehungen instabil werden würde. Eine solche Umdrehung wurde mit 10^8 Jahren angenommen. Es wurde auch festgestellt, dass das System instabil sein würde, selbst wenn die totale Energie des Systems negativ sein sollte. Diese Ergebnisse waren der Beginn der Diskussion über die Entstehung und den Ursprung von kompakten Gruppen.

Die erste systematische Suche nach kompakten Gruppen wurde von [ROSE 1977] durchgeführt. In seiner Arbeit präsentierte er das Ergebnis einer systematischen Suche auf 69 POSS-Platten und den *Yale-Columbia southern proper motion plates*. In seinem Katalog sind alle Gruppen heller als 18 mag. Weiters sind die Gruppen auf hohe galaktische Breiten ($> 55^\circ$) beschränkt. Für seine Arbeit - in der er die Verteilung von kompakten Gruppen, das Problem der fehlenden Masse und die Diskrepanz in der Rotverschiebung einiger Gruppen analysieren wollte - etablierte er als erster eine konkrete Definition von kompakten Gruppen:

- Drei oder mehr Galaxien befinden sich in einem Gebiet von $A \text{ arcmin}^2$.

- σ ist die durchschnittliche Anzahl von Feldgalaxien pro arcmin^2 mit einer Magnitude $m_B \geq$ der lichtschwächsten Galaxie in diesem Gebiet.

Daher ist eine Galaxienansammlung eine kompakte Gruppe, wenn $A\sigma \leq 0.0035$ und wenn die lichtschwächste Galaxie in der Gruppe eine $m_B \leq 17.5$ aufweist. Das heißt, dass eine Gruppe mit n Mitgliedern eine Anzahldicke von mindestens $n/0.0035$ Mal der durchschnittlichen Dichte des Feldes aufweist.

Mit dieser Methode fand Rose auf den 69 POSS-Platten 170 Triplets, 26 Quartets und 2 Quintets - wovon eine Gruppe eine Neuentdeckung war. Alle diese Gruppen wurden nur visuell detektiert. Die Daten von den Yale-Columbia-Platten waren am Ende zu unsicher für diese Arbeit. In seiner Analyse der Verteilung von kompakten Gruppen folgerte Rose, dass diese Gruppen reale kleine Subsysteme sind, da jede Gruppe mindestens eine Galaxie in unmittelbarer Umgebung mehr hat, als man bei einer zufälligen Verteilung der Galaxien am Himmel erwarten würde.

[HICKSON 1982] war der nächste, der eine systematische Suche nach kompakten Gruppen, basierend auf den POSS-Platten, durchführte. Er benutzte bei seiner Suche die roten Platten, weil deren Leuchtkräfte aussagekräftiger wären als die blauen Platten. Hickson entwarf auch neue Auswahlkriterien, welche bis heute benutzt werden um kompakte Gruppen zu detektieren und zu charakterisieren. Diese Kriterien werden als das Populations- (1.2), das Isolations- (1.3), und das Kompaktheitskriterium (1.4) bezeichnet:

$$N \geq 4 \quad (1.2)$$

$$\Theta \geq 3\Theta_G \quad (1.3)$$

$$\bar{\mu}_G < 26.0 \quad (1.4)$$

In diesen Formeln ist N die Gesamtanzahl der Galaxien innerhalb von 3 mag rund um die hellste Galaxie. $\bar{\mu}_G$ ist die durchschnittliche Gesamtmagnitude über diese Galaxien pro arcsec^2 (über den Winkeldurchmesser Θ_G). Θ_G ist der kleinste Kreis, der ihre geometrischen Zentren beinhaltet. Θ_N ist der Winkeldurchmesser des größten konzentrischen Kreises, der keine anderen Galaxien innerhalb der Grenzmagnituden beinhaltet.

Da Galaxienhaufen und andere große Anhäufungen von Galaxien selten isoliert sind, sondern sie das Isolations- und das Kompaktheitskriterium sehr gut aus.

Jede seiner gefundenen Gruppen wurde anschließend basierend auf ihren morphologischen und den Farbeigenschaften klassifiziert:

- S : die hellste Galaxie ist eine Spiralgalaxie
- E : die hellste Galaxie ist keine Spiralgalaxie
- I: wenn $m_b - m_a \geq 1.0$
- II: wenn $0.5 \geq m_b - m_a \geq 1.0$
- III: wenn $m_b - m_a < 0.5$

In dieser Klassifikation sind m_a und m_b die Magnituden der hellsten und der zweithellsten Galaxie in der Gruppe. Obwohl Hickson seine klassifizierten Galaxien mit anderen Katalogen verglich, hatte er immer noch das Problem mit möglichen Vordergrundobjekten, die eventuell seinen Katalog kontaminierten.

Am Ende seiner Durchmusterung hatte Hickson 451 Galaxien gefunden, welche in genau 100 Gruppen verteilt waren. 43% dieser Gruppen wurden als Spiralen und 31 % als elliptisch definiert. Der Rest fiel unter den Punkt Andere, welche S0 Galaxien und Galaxien ohne signifikante Spiralstruktur beinhalten. Mit diesen Ergebnissen war Hickson auch der erste, der feststellte, dass der Anteil an Spiralgalaxien in kompakten Gruppen geringer ist als im Feld, wo 57% aller Galaxien Spiralen sind. [GISLER 1980] erhöhte den Anteil an Spiralgalaxien in HCGs auf 65%, allerdings auch den der Feldgalaxien auf 75%.

Die Schlussfolgerungen und Entdeckungen von Hickson und seiner systematischen Suche nach kompakten Gruppen waren ein sehr wichtiger und bedeutender Schritt zu ihrer Erforschung. Bis heute werden innerhalb dieser 100 Gruppen immer wieder neue Entdeckungen gemacht. Heute sind diese Gruppen die am besten beobachteten. Das war auch der Grund dafür, in dieser Arbeit mit diesen Gruppen zu arbeiten, da eine Fülle von Bilder und Spektren von verschiedenen Teleskopen mit verschiedenen Techniken aufgenommen, bereits existieren.

Nachdem [HICKSON 1982] den Grundstock für eine fundierte Suche nach kompakten Gruppen gelegt hatte, wurden noch weitere Durchmusterungen durchgeführt, die sich zumeist an den von Hickson eingeführten Kriterien zur Detektion von kompakten Gruppen orientierten.

[PRANDONI et al. 1994] veröffentlichten ein Paper, indem sie die Resultate einer automatischen Durchmusterung der Südhemisphäre publizierten. Für die Suchroutine wurden die Daten von COSMOS verwendet, die ~ 5000 Quadratgrad abdecken und mehr als eine Million Galaxien beinhalten. Mit Hilfe der Suchparameter, die durch Hickson festgelegt worden, und für die automatische Suche angepasst worden waren, wurden 143 neue kompakte Gruppe auf der Südhemisphäre gefunden (*Southern Compact Groups*). Dabei sind die Daten bis hinab zu einer Magnitude von $b_j = 15.0$ komplett, wodurch die Durchmusterung etwa 1 Magnitude tiefer reicht, als jene von Hickson. Trotz ihrer angepassten Suchkriterien, die zufällige Projektionseffekte durch sowohl Vordergrund- als auch Hintergrundobjekte ausschließen sollten, gehen sie davon aus, dass sie eine Kontaminationsrate von 28% in ihrem Sample besitzen. [COZIOL et al. 2000] untersuchten in 49 dieser neu gefundenen Gruppen die Morphologie der Mitglieder.

[BARTON et al. 1996] erstellten einen Katalog für kompakte Gruppen auf der Basis von drei verschiedenen spektroskopischen Durchmusterungen (*Redshift Survey Compact Groups* (RSCG's)). Aufgrund der vorhandenen Daten zur Rotverschiebung konnten sie eine dreidimensionale Verteilung der Galaxien innerhalb der Gruppen vornehmen. Auch waren die Auswahlkriterien für Gruppen andere, als sie von Hickson eingeführt wurden. Sie suchten nach benachbarten Galaxien, die nicht weiter als $\Delta V_0 = 1000 \text{ km s}^{-1}$ in der Geschwindigkeit und $\Delta D_0 = 50 \text{ kpc}$ in der Distanz getrennt sind. Auf diese Art und Weise fanden sie bei der Durchsuchung von 14011 Galaxien 98 kompakte Gruppen mit drei oder mehr Mitgliedern. Da ihnen Daten zur Geschwindigkeit vorlagen, konnten sie davon ausgehen, dass alle ihre gefundenen Gruppen echte Gruppen und keine Projektionseffekte sind. Die mittlere Rotverschiebung der Gruppen beträgt $z = 0.014$, was weniger als die Hälfte der mittleren Rotverschiebung der Hickson Gruppen ist. Dies kann durch ein geringeres Detektionslimit erklärt werden. Barton et al. untersuchten in den von ihnen gefundenen

Gruppen die Geschwindigkeitsdispersion, die Dichte, die Population, die Umgebung der kompakten Gruppen, sowie deren Leuchtkraftfunktion. Dabei stellten sie fest, dass die physischen Eigenschaften der RSCGs jenen der HCGs sehr ähnlich sind. Außerdem schlussfolgerten sie aufgrund der ihnen zur Verfügung stehenden Daten, dass die meisten kompakten Gruppen in dichte Umgebungen eingebettet sind. Da sie auch die Auswahlkriterien für kompakte Gruppen, die von Hickson aufgestellt wurden mit ihren Auswahlkriterien verglichen, stellten sie zudem fest, dass das Isolationskriterium (Gleichung 1.3) nur eine schlechte Vorhersage für die Umgebung ist, in der sich die einzelnen Gruppen befinden.

Mit Hilfe des *Las Campanas Redshift Surveys* fanden [ALLAM und TUCKER 2000] 76 kompakte Gruppen - zusammengefasst im Katalog der *Las Campanas Compact Groups* (LCCGs) - deren Eigenschaften ebenfalls sehr ähnlich denen von Hickson sind. Aus dem Survey wurden Galaxien mit einer Rotverschiebung im Bereich $7500 \text{ km s}^{-1} \leq cz_{\text{cmb}} < 45000 \text{ km s}^{-1}$ und mit Helligkeiten $-22.5 \leq M_R - 5 \log h < -17.5$ untersucht. Wie auch bei [BARTON et al. 1996] wurden die Gruppen sowohl anhand ihrer projizierten Ausdehnung, als auch anhand ihrer Geschwindigkeitsdifferenz bestimmt. Die schlussendlich gefundenen 76 Gruppen sind mit einer mittleren Rotverschiebung von $z = 0.08$ mehr als zwei Mal so weit entfernt wie jene von Hickson. Außerdem stellten sie fest, dass nur ein drittel der LCCGs wirklich isoliert ist, während die restlichen zwei drittel in offene Gruppen oder Haufen eingebettet zu sein scheinen.

Die bislang größte Suche nach kompakten Gruppen wurde von [McCONNACHIE et al. 2008] durchgeführt. Sie verwendeten die Daten des *Sloan Digital Sky Survey data release 6* um zwei Kataloge von kompakten Gruppen zu erstellen. Dabei verwendeten sie beide Male die drei Kriterien von Hickson. Für den Katalog mit einer limitierenden Magnitude von $r' = 18$ fanden sie 2297 Gruppen und weitere 74791 kompakte Gruppen für den Katalog mit einer limitierenden Magnitude von $r' = 21$. Insgesamt befinden sich somit 0.9% aller Galaxien innerhalb der SDSS in diesem Magnitudenbereich in kompakten Gruppen. Dabei gehen sie jedoch davon aus, dass, aufgrund falscher Klassifikation durch die SDSS, eine relativ starke Kontamination durch andere Objekte (Sterne, Satelliten, Überläufe, etc.) vorliegt. Für die hellen Gruppen nehmen sie eine Kontamination von 26% und für die leuchtkraftschwachen Gruppen eine Kontamination von 14% an. [McCONNACHIE et al. 2008] untersuchten auch jene Galaxien weiter, von denen spektroskopische Informationen verfügbar waren (43% bei den hellen Gruppen und 5% bei den leuchtkraftschwachen Gruppen). Durch diese Informationen konnten sie feststellen, dass 55% aller Gruppen aus dem hellen Katalog Galaxien mit zur restlichen Gruppe unterschiedlicher Rotverschiebung aufweisen. Daher ist es anzunehmen, dass einige der als Gruppen identifizierten Strukturen in Wahrheit nur Projektionseffekte darstellen.

1.2 Theorien zu kompakten Gruppen

Obwohl kompakte Galaxiengruppen seit mehr als 100 Jahren beobachtet und erforscht werden, gibt es immer noch anhaltende Diskussionen über den Ursprung und die wahre Natur der Gruppen. ([MAMON 1995] und [HICKSON 1997] bieten in ihren Arbeiten einen guten Überblick über die vorhandenen Theorien zu kompakten

Gruppen und gehen auch näher darauf ein. Der grundsätzliche Diskussionspunkt bei den Gruppen ist, inwiefern es sich bei ihnen um gebundene oder ungebundene Systeme handelt und ob sie in größere Strukturen eingebettet sind.

1.2.1 Ungebundene Systeme

Geht man davon aus, dass kompakte Gruppen keine gravitativ gebundenen Systeme sind, so bietet sich vier mögliche Erklärungen für sie an.

1.2.1.1 Projektionseffekte

Eine der am häufigsten erwähnten Theorien geht davon aus, dass die kompakten Galaxiengruppen in Wahrheit keine physikalischen Systeme sind, sondern durch die richtige Sichtlinie in offenen Gruppen und Haufen entstehen.

Dies ist durchaus eine Möglichkeit, da einige beobachtete kompakte Gruppen keine Interaktionen aufweisen. Auch die Tatsache, dass bei vielen Gruppen, wie etwa dem Stephan's Quintet, Galaxien mit zur restlichen Gruppe sehr unterschiedlichen Rotverschiebungen gemessen wurden, unterstützt diese Theorie zum Teil. Mit dem Aufkommen von immer mehr Spektren zu den kompakten Gruppen, wurde jedoch festgestellt, dass die meisten Mitglieder einer Gruppe idente Rotverschiebungen aufwiesen. Auch die Tatsache, dass sich die Zusammensetzung der Mitglieder - bezüglich elliptischer Galaxien und Spiralgalaxien - vom Feld unterscheidet, widerspricht dieser Annahme. [ARP 1987] wies jedoch auf ein Problem hin: Sollte die Anzahl jener Galaxien, die eine andere Rotverschiebung als die restlichen Gruppenmitglieder aufweisen, inkonsistent mit der Statistik bezüglich zufälliger Projektionseffekte sein, so könnte dies ein Hinweis für neue benötigte physikalische Theorien sein. Ein solches Übermaß an projizierten Galaxien wurde von [SULENTIC 1987] gefunden, konnte aber weder von [HICKSON et al. 1988] noch von [IOVINO und HICKSON 1997] bestätigt werden.

1.2.1.2 Ungebundene Subsysteme in Offenen Gruppen

Kompakte Gruppen könnten auch ungebundene Subsysteme innerhalb von offenen Gruppen darstellen, welche nur für ihre Crossing-Zeit überleben. Studien zur Verteilung der Galaxien - ermittelt durch Messungen der Rotverschiebung - indizieren durchaus, dass kompakte Subkondensationen in offenen Gruppen und Filamenten auftreten. [VENNIK et al. 1993] fanden zudem heraus, dass die meisten HCGs mit offenen Gruppen assoziiert sind, was durch zahlreiche Arbeiten auch neueren Datums bestätigt wird. Allerdings spricht die abweichende Morphologie der kompakten Gruppen gegenüber der offenen Gruppen, sowie die statistische Wahrscheinlichkeit für die Häufigkeit solcher Begegnungen, dagegen. Denn da die Galaxien in offenen Gruppen weiter von einander entfernt sind, sollte es nur sehr selten vorkommen, dass sich mehrere Galaxien so dicht einander annähern.

1.2.1.3 Dichte, transiente Konfigurationen

[ROSE 1977] war der erste, der die Vermutung äußerte, dass es sich bei kompakten Gruppen um rein transiente Konfigurationen handeln könnte, die durch Zufall zustande kommen. Obwohl dies eine sehr einfache und praktische Erklärung für die Existenz der Gruppen wäre, spricht die Statistik dagegen, dass vier oder mehr Galaxien sich zugleich in einem so kleinen Volumen aufhalten. Zumal kompakte Gruppen relativ häufig auftreten. Es würde zudem auch nicht erklären, warum das Verhältnis zwischen Spiral- und elliptischen Galaxien innerhalb der Gruppen ein anderes, als jenes im Feld ist.

1.2.1.4 Projizierte Galaxienhaufen

Weiters wäre es möglich, dass kompakte Gruppen Filamente von projizierten Galaxienhaufen sind. Ein Hinweis darauf könnte die relativ schwache Röntgenleuchtkraft von kompakten Gruppen sein, die in diesem Falle dann nicht durch den Mangel an Gas, sondern eben durch den Projektionseffekt, zustande kommen würde [HERNQUIST et al. 1995]. Jedoch sprechen auch hier die Morphologie und der enge Bereich der Rotverschiebung, in der sich die meisten Galaxien innerhalb einer Gruppe befinden, dagegen.

1.2.2 Gebundene Systeme

Aufgrund zahlreicher Untersuchungen in jüngster Vergangenheit, welche große Bereiche rund um kompakte Gruppen analysierten und spektroskopische Daten zu den hellsten Mitgliedern der einzelnen Gruppen lieferten, geht man heute davon aus, dass es sich bei kompakten Gruppen zum größten Teil um echte gebundene Systeme handelt. Jedoch existiert immer noch die Streitfrage, ob sie wirklich die isolierten Systeme sind, als die sie Hickson klassifiziert hat, oder ob sie doch Mitglieder von offenen Gruppen darstellen.

1.2.2.1 Isolierte gebundene Systeme

Nach Hickson sind die Kompakten Gruppen dichte, gebundene Systeme, bestehend aus vier oder mehr Galaxien. Geht man von dieser Theorie aus, könnten sie Reste von ursprünglichen dichten Gruppen sein, oder sich aber auch erst vor kurzer Zeit gebildet haben. Statistische N-Körper Simulationen von dichten Gruppen haben jedoch gezeigt, dass von den beinahe 1000 simulierten dichten Galaxiengruppen keine eine Hubblezeit überlebte, was gegen die Idee von Resten ursprünglicher Gruppen spricht.

Gegen diese Theorie spricht auch, die erhöhte Anzahl an Sprialgalaxien in kompakten Gruppen. Man würde sich im Gegensatz - aufgrund der vielen Merger innerhalb der Gruppe - einen höheren Anteil von elliptischen Galaxien erwarten. Sollte der Anteil an Sprialgalaxien bezeichnend für die Dichte der Gruppen sein, dann würden sie 200-mal weniger Dicht in 3D sein, als sie in 2D erscheinen [SULENTIC 1987].

Außerdem weist [MAMON 1986] daraufhin, dass, sollten HCGs wirklich gebundene Systeme sein, sie für 25% aller leuchtkräftigen Feldgalaxien verantwortlich wären,

die wir heute sehen. Dies würde jedoch das Problem aufwerfen, dass es mehr elliptische Galaxien dieser Art geben müsste, als es nach heutigen Erkenntnissen gibt. Eine Lösung für dieses Problem könnte sein, dass kompakte Gruppen länger brauchen zu einer einzelnen elliptischen Galaxie zu mergen, als man gemeinhin annimmt.

1.2.2.2 Dichte gebundene Systeme innerhalb von Offenen Gruppen

[DIAFERIO et al. 1994] stellten die Theorie auf, dass kompakte Gruppen ständig innerhalb von offenen Gruppen gebildet werden. Beobachtungen die zeigen, dass viele kompakte Gruppen in Offene eingebettet sind, unterstützen diese These. [GOVERNATO et al. 1996] erstellten dazu ein Modell, in dem versucht wird, die Mergingaktivitäten innerhalb einer kompakten Gruppe durch den Einfall von Galaxien aus der Umgebung zu erklären. Ein solches Modell würde den Mix aus morphologischen Typen, den man in den Gruppen beobachtet, erklären und den kompakten Gruppen zudem auch erlauben, länger zu bestehen.

Gegen diese Theorie spricht jedoch, dass HCGs üblicherweise nur die Hälfte des neutralen Wasserstoffes besitzen, den eine offene Gruppe vergleichbarer Größe besitzen würde. Weiters weisen [WILLIAMS und ROOD 1987] darauf hin, dass es in kompakten Gruppen, im Gegensatz zu offenen Gruppen, eine Tendenz gibt, dass E- und S0-Galaxien die hellsten Mitglieder der Gruppe stellen. Außerdem merkten [RUBIN et al. 1991] an, dass das Gas und die dunkle Materie in kompakten Gruppen ausgedehnter ist, als man es von offenen Gruppen kennt. Zudem scheint die Gaskomponente von den Galaxien entkoppelt zu sein.

Neuere Untersuchungen von [ROOD und STRUBLE 1994] ergaben jedoch, dass 70% der HCGs, die innerhalb von $z \leq 0.2$ liegen, sich innerhalb von offenen Gruppen befinden, was diese Theorie zu der wahrscheinlichsten macht.

Daher sieht das aktuelle Standardbild zur Evolution von kompakten Gruppen folgendermaßen aus: Die kompakten Gruppen bilden sich aus offenen Gruppen und werden aufgrund von Interaktionen der Galaxien und der Halos aus Dunkler Materie immer kompakter. Sobald die Halos zu mergen beginnen, werden die Galaxien durch dynamische Reibung immer näher aneinander gezogen [BASSANI et al. 1995]. Da solche Systeme jedoch nur eine kurze Lebensdauer hätten, würden wir eine sehr viel geringere Anzahl an kompakten Gruppen erwarten, als wir heute sehen. Denn die Entstehung einer einzelnen massiven Zentralgalaxie sollte ein sehr rascher Prozess sein.

[TOVMASSIAN et al. 2002] bieten dabei die gleiche Lösung für dieses Problem an, wie [GOVERNATO et al. 1996] indem sie davon ausgehen, dass laufend neue Galaxien aus der offenen Gruppe in die kompakte Galaxiengruppe stürzen und so die Zahl der wechselwirkenden Galaxien etwa gleich bleibt. Eine weitere Möglichkeit für die Langlebigkeit von kompakten Gruppen ergab sich jedoch aus ihren Ergebnissen der Bewegung der einzelnen Mitglieder der Gruppen, nach denen sich die Mitgliedsgalaxien entlang einer Hauptachse bewegen. Dies könnte darauf hin deuten, dass die Mitglieder der Gruppe auf lang gestreckten Orbits rund um ein gemeinsames gravitatives Zentrum rotieren. Das würde HCGs zu stabileren Systemen machen, als N-Körper Simulationen für gewöhnlich erwarten lassen. Zudem würde dies auch den Mangel an Mergers erklären, den man in HCGs laut [ZEPF 1993] festgestellt hat. Dennoch wären die Interaktionen zwischen den Galaxien noch stark genug um Gas

aus den Galaxien zu entfernen und Spiralgalaxien so effizient in elliptische Galaxien zu verwandeln.

1.3 Spektroskopische Erfassung der Gruppen

Im Jahr 1992 veröffentlichten [HICKSON et al. 1992] ihre Ergebnisse einer spektroskopischen Untersuchung von 99 der Einhundert HCGs (Geschwindigkeiten für die Gruppe 55 wurden nicht gemessen, da diesbezügliche Ergebnisse bereits vorlagen und diese sie eindeutig als kompakte Gruppe identifizierten). Dabei wurde eine durchschnittliche Rotverschiebung von $z = 0.030$ festgestellt, sodass die meisten der HCGs jenseits des Virgo-Haufens liegen [HICKSON 1997].

Aus den Gruppen wurden alle Galaxien ausgeschlossen, welche $\Delta v > 1000 \text{ km s}^{-1}$ aufwiesen. Von allen anderen wurde angenommen, dass sie physisch miteinander assoziiert wären. Auf diese Art und Weise wurden acht Gruppen ausgeschlossen, da sie nun weniger als drei miteinander assoziierte Galaxien aufwiesen. Das korrigierte HCGs-Sample besteht so letztendlich aus 92 Gruppen mit 386 Galaxien.

Die meisten der gemessenen Galaxien wiesen eine Geschwindigkeitsdispersion von 250 km s^{-1} auf. Die mittlere Geschwindigkeitsdispersion zwischen den Gruppenmitgliedern wurde mit 200 km s^{-1} gemessen, womit sie vergleichbar ist mit jenen in offenen Gruppen ($\sim 180 - 200 \text{ km s}^{-1}$). Dies unterstützt die Theorie, dass kompakte Gruppen nur Substrukturen in offenen Haufen sind. Zugleich ist diese Geschwindigkeit auch sehr viel niedriger, als sie typischerweise in Haufen gemessen wird.

Zusätzlich zum Kern der Verteilung, der einer Gauß-Kurve gleicht, sieht man eine flache Komponente. Dies ist zu erwarten, da einige Galaxien physisch nicht mit der Gruppe verbunden sind, aber durch die Sichtlinie hinein projiziert werden. Diese Komponente beinhaltet 25% aller Galaxien [HICKSON 1997].

Aus den gemessenen Geschwindigkeitsdispersionen berechneten sich [HICKSON et al. 1992] weiters eine intrinsische, dreidimensionale Geschwindigkeitsdispersion V :

$$V = [3(\langle v^2 \rangle - \langle v \rangle^2 - \langle \delta v^2 \rangle)]^{1/2} \quad (1.5)$$

Wobei v die Radialgeschwindigkeit der Galaxie, δv der angenommene Fehler, und $\langle \rangle$ das Mittel über alle Galaxien der Gruppe ist. Damit berechneten sie sich eine dimensionslose *crossing*-Zeit $H_0 t_c$:

$$t_c = \frac{4 R}{\pi V} \quad (1.6)$$

Hickson ging davon aus, dass bei kleinen t_c mehr dynamische Evolution von stattem geben sollte, als bei großen. Nach der Theorie, dass sich elliptische Galaxien durch Merger von Spiralen bilden, sollte man in Gruppen mit kleinem t_c mehr elliptische Galaxien finden, als in solche mit großem.

Man fand tatsächlich einen klaren Trend für Gruppen, die eine *crossing*-Zeit von weniger als $0.03 H_0^{-1}$ aufweisen, wie man auch in Abbildung 1.1 erkennen kann. Diese Gruppen weisen generell weniger Spiralgalaxien auf, als Gruppen mit einer längeren Zeitskala. Dies ist eine starke Indiz dafür, dass sich Spiralgalaxien durch Merger in elliptische verwandeln. Zudem liefert es eine mögliche Erklärung für das Endstadium von kompakten Gruppen: Leuchtkräftige elliptische Feldgalaxien.

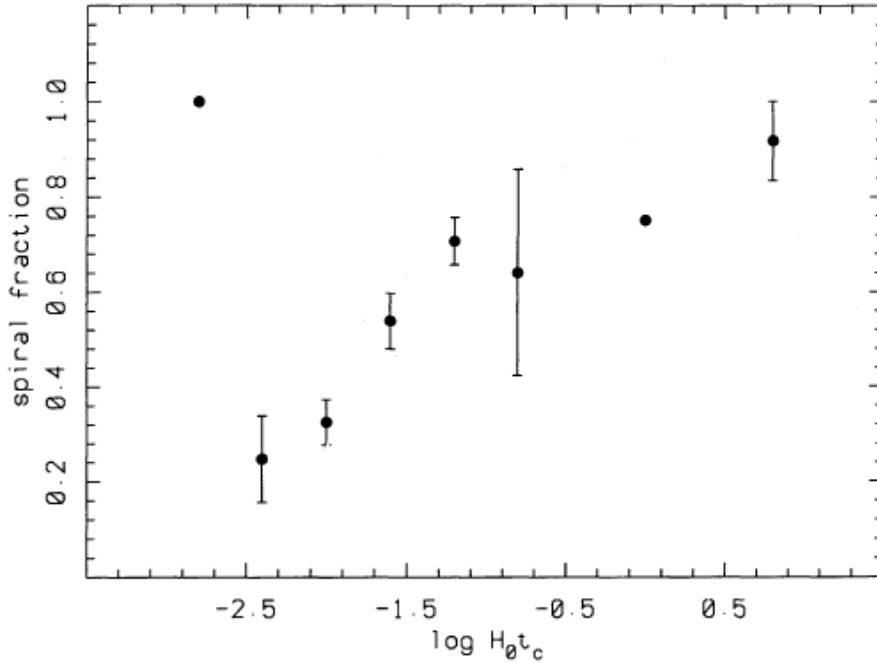


Abbildung 1.1: Der Anteil an späten galaktischen Typen vs. die crossing Zeit. Wie vorhergesagt, findet man in Gruppen mit niedrigem t_c mehr elliptische Galaxien als Spiralgalaxien [HICKSON et al. 1992].

Sollte diese Theorie jedoch zutreffen und sich alle kompakte Gruppen letztendlich in massereiche E-Galaxien verwandeln, so würden wir eine größere Anzahl dieses Galaxientyps erwarten, als wir heute sehen. Ein weiteres Problem dabei ist, dass die integrierte Leuchtkraft von kompakten Gruppen typischerweise einen Faktor drei oder vier höher ist als die Leuchtkräfte in isolierten E-Feldgalaxien.

1.4 Leuchtkraftfunktionen in kompakten Gruppen

Leuchtkraftfunktionen werden in der Astronomie häufig herangezogen, um Aussagen über globale Eigenschaften einer Population von Galaxien zu treffen. Daher sind Leuchtkraftfunktionen von Gruppen und Galaxienhaufen auch wichtig um die Rolle der Umgebung bei der Bildung und Evolution von Galaxien abzuschätzen. Auch bei kompakten Gruppen könnte die Leuchtkraftfunktion daher, laut [HICKSON 1997], Aussage über ihren Ursprung und ihre Entwicklung geben. Sollten HCGs nämlich in erster Linie Projektionseffekte oder transiente Konfigurationen sein, dann müsste ihre Leuchtkraftfunktion dieselbe sein, wie in ihrer eigentlichen Umgebung. Sind sie jedoch wirklich gebundene physikalische Systeme, sollte dies an der Leuchtkraftfunktion zu erkennen sein.

Zur Erstellung einer Leuchtkraftfunktion wird üblicherweise die von [SCHECHTER 1976] entwickelte Funktion herangezogen:

$$\Phi(L) = \frac{\Phi^*}{L^*} \frac{L}{L^*} \exp \frac{-L}{L^*} \quad (1.7)$$

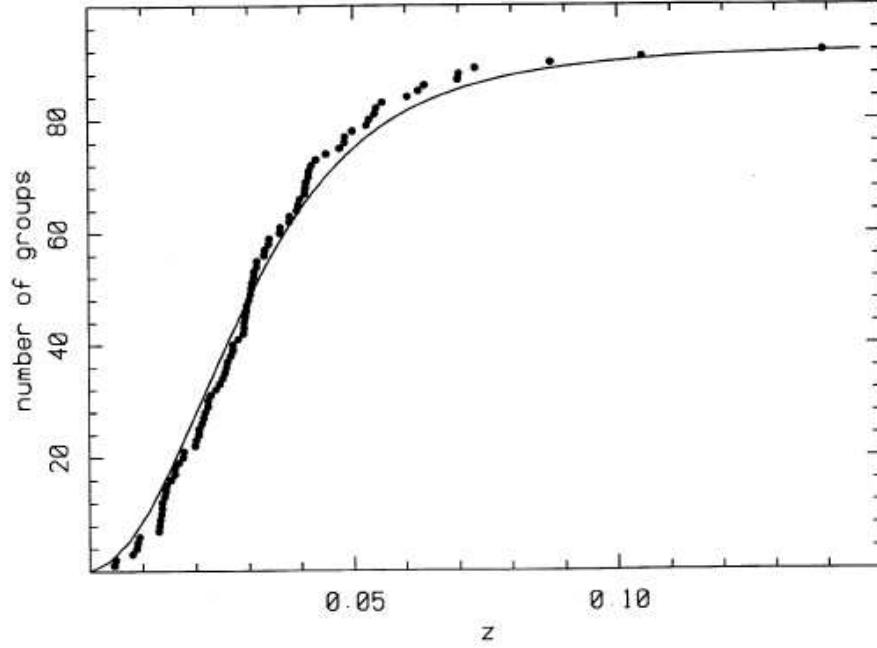


Abbildung 1.2: Die Rotverschiebung der kompakten Gruppen nach Hickson gegen ihre jeweilige Anzahl. Die erstellte Schechter-Funktion besitzt dabei die Parameter $M^* = -20.6$ und $\alpha = -0.2$. Dies ist laut Hickson der beste zu erhaltende Fit für die Gruppen [HICKSON et al. 1992].

Wobei L^* eine charakteristische Leuchtkraft darstellt, oberhalb derer die Verteilung der Galaxien exponentiell abfällt. α gibt die Steigung der Leuchtkraftfunktion für kleine L an und Φ^* die Normierung der Verteilung. Dieselbe Funktion kann auch in Magnituden ausgedrückt werden:

$$\Phi(M) = (0.4 \ln 10) \Phi^* 10^{0.4(\alpha+1)(M^*-M)} \exp(-10^{0.4(M^*-M)}) \quad (1.8)$$

Bereits Schechter stellte fest, dass die Berechnung der Leuchtkraftfunktion jedoch nicht einfach ist, da für eine repräsentative Stichprobe an Galaxien große Volumina betrachtet werden müssen.

Die beste heute untersuchte Gruppe diesbezüglich ist naturgemäß die Lokale Gruppe, weil hier davon ausgegangen werden kann, dass die meisten Mitglieder bereits gefunden wurden. [VAN DEN BERGH 1992] erstellten eine Leuchtkraftfunktion über 13 Magnituden für die Lokale Gruppe mit allen bis dato bekannten Mitgliedern bis in eine Entfernung von 1.0 Mpc. Diese Daten wurden zusammen mit einer Schechter-Funktion mit $\alpha = 1.1$ und $M_V^* = -22.5$ dargestellt. Dabei fanden sie keinen Hinweis auf einen Abfall bei geringen Leuchtkräften, wie das ansonsten oft der Fall ist - oft aufgrund von fehlenden Galaxien mit geringer Leuchtkraft -, obwohl sie anmerken, dass die Population rund um M31 nur bis zu $M_V = -10.0$ bekannt ist. Im Gegenteil scheint es, dass die Leuchtkraftfunktion auch bei $M_V = -8$ weiter steigt und es keinen Abbruch bei den Galaxien geringer Leuchtkraft gibt.

Aufgrund der Schwierigkeit leuchtkraftschwache Galaxien zu detektieren und sie auch der Gruppe zuzuordnen, gibt es bis dato nur sehr wenige Arbeiten, welche Er-

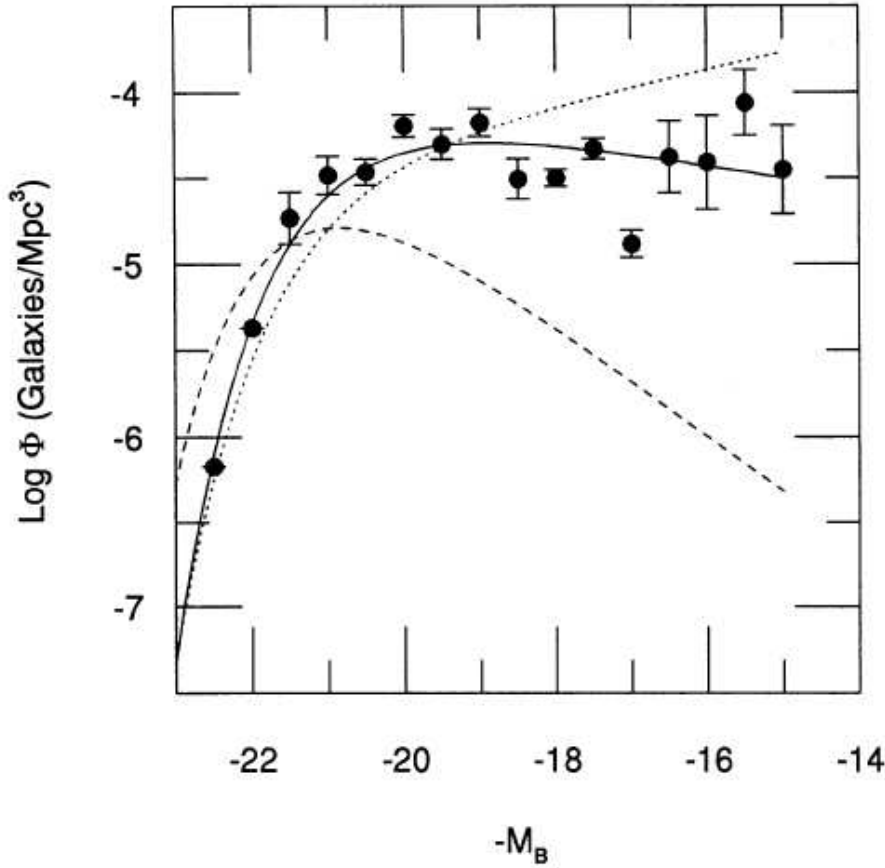


Abbildung 1.3: Die Ergebnisse der Untersuchung von Ribeiro et al. im Vergleich mit anderen Leuchtkraftfunktionen. Dabei gibt die x-Achse die absoluten Magnituden im B-Band an und die y-Achse die logarithmische Anzahl von Galaxien pro Mpc^3 . Die durchgehende Linie zeigt die von Ribeiro et al. erhaltene Funktion an. Sie wird mit den Ergebnisse von [MENDES DE OLIVEIRA und HICKSON 1991] (gestrichelte Linie) und der typischen Funktion für Feldgalaxien (gepunktete Linie) verglichen. 1σ Fehler sind eingezeichnet [RIBEIRO et al. 1994].

gebnisse zu Leuchtkraftfunktionen in kompakten Gruppen liefern. Dabei untersuchte bereits [HICKSON et al. 1992], ob die Leuchtkraftfunktion der Gruppen mit einer Schechter-Funktion konsistent ist. Dabei gingen sie von den Parametern $M^* = -20.6$ und $\alpha = -0.2$ aus. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Abbildung 1.2 zu sehen. Hickson et al. merken auch an, dass eine Leuchtkraftfunktion mit $\alpha = -1$, wie man sie für Galaxien in offenen Gruppen findet, nicht konsistent mit ihren Ergebnissen ist. Dies sahen sie als Hinweis an, dass kompakte Gruppen keine Substrukturen in offenen Gruppen sind.

Andererseits merken sie aber auch an, dass die Leuchtkraftfunktion einzelner Galaxien in kompakten Gruppen am besten mit den Parametern $M^* = -19.6$ und $\alpha = -0.2$ zu beschreiben ist. [MAMON 1995] fand eine ähnlich passende Schechter-Funktion mit $\alpha = -0.3$. Dies würde bedeuten, dass kompakte Gruppen weniger leuchtschwache Galaxien aufweisen, als etwa Galaxienhaufen oder offene Gruppen. Allgemein sind aber auch weniger leuchtkraftschwache Gruppen vertreten, als man

bei einer zufälligen Verteilung der Galaxien erwarten würde. [BATTAGLIA et al. 2004] weisen zwei Möglichkeiten auf, wie es zu diesem Zustand gekommen sein könnte: Zum einen könnten sich die Gruppe bereits ohne die fehlenden leuchtkraftschwachen Mitglieder gebildet haben. Zum anderen könnten sie ursprünglich sehr wohl präsent gewesen sein, wurden jedoch mittlerweile entweder zerstört oder verloren. Eine weitere Arbeit, welche einen Mangel an Zwerggalaxien in kompakten Gruppen diagnostizierte, stammt von [HEILIGMAN und TURNER 1980]. Auch sie schlussfolgern daraus, dass aufgrund der hohen Galaxiendichte und der fortgesetzten Interaktion der Gruppenmitglieder die Umgebung von kompakten Gruppen zu brutal sei, als dass dort Zwerggalaxien überleben könnten.

Aktuellere Untersuchungen bezüglich der Leuchtkraftfunktion in kompakten Gruppen, welche generell auch leuchtkraftschwächere Galaxien detektieren konnten, zeigen jedoch andere Ergebnisse und deuten darauf hin, dass es sehr wohl eine ausgeprägte Population von Zwerggalaxien innerhalb der kompakten Gruppen gibt. [RIBEIRO et al. 1994] untersuchten die Leuchtkraftfunktion von 22 HCGs bis hinab zu einer Helligkeit von $M_B = -14.5 + 5 \log h$. Sie fanden eine Steigung am lichtschwachen Ende der Funktion von $\alpha = -0.8$, welche sich nicht allzu sehr von Galaxien in anderen Umgebungen unterscheidet. Außerdem weisen sie auf die Ähnlichkeit des Steigung am schwachen Ende der Leuchtkraftfunktion bei offenen Gruppen hin.

[HUNSBERGER et al. 2000] untersuchten, zur Erstellung von Leuchtkraftfunktionen, 39 HCGs im R-Band. Dazu verwendeten sie das 1.5m Palomar Teleskop mit Belichtungszeiten von jeweils 30 Sekunden. Sie fanden heraus, dass eine einzelne Schechter-Funktion nur schlecht dazu geeignet ist, die Leuchtkraftfunktion einer kompakten Gruppe zu beschreiben, weshalb sie zwei Funktionen, eine für die leuchtkraftschwache und eine für die helle Population annahmen. Sie fanden dabei außerdem heraus, dass die Gruppen, welche Kandidaten für Gezeitengalaxien aufweisen, Gruppen mit Röntgenhalos und Gruppen mit einer dominanten elliptischen oder S0-Galaxie eine signifikant größere Population an Zwerggalaxien aufweisen, als Gruppen, die nicht über diese Charakteristika verfügen.

[KRUSCH et al. 2006] fanden bei ihrer Untersuchung von fünf HCGs ebenfalls ein schwaches Ende der Funktion. Auch bei ihnen hat die Leuchtkraftfunktion, die sie für alle fünf Gruppen erstellt haben, einen bimodalen Charakter. Ihre Ergebnisse und die von Arbeiten anderer Astronomen aus jüngster Zeit, welche zahlreiche Zwerggalaxien detektierten, sind damit auch in Übereinstimmung mit der Λ CDM-Theorie, welche eine große Anzahl von Zwerggalaxien prognostiziert.

1.5 Morphologie in kompakten Galaxiengruppen

Im Rahmen dieser Arbeit sind die Hauptmitglieder der einzelnen kompakten Galaxiengruppen, die leuchtkraftstarken Galaxien, nur von geringem Interesse. Dennoch sollte hier kurz darauf eingegangen werden, da die morphologische Verteilung der Galaxien Aussagen über die mögliche physikalische Beschaffenheit der Gruppen ermöglicht. Allerdings wird nicht die detaillierte Klassifikation nach Hubble verwendet, wie sie in Abbildung 1.4 zu sehen ist, sondern es erfolgt eine einfache Einteilung in frühe und späte Galaxientypen. Dabei wird jedoch auch noch auf die Unterschiede zwischen elliptischen und S0-Galaxien eingegangen. Irreguläre Galaxien sind in dem

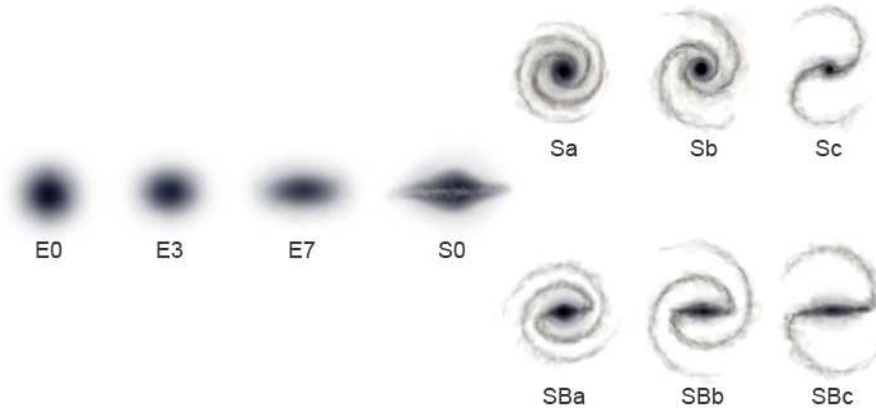


Abbildung 1.4: Die morphologische Einteilung der Galaxien nach Hubble. Galaxien des Typs E und S0 werden zu den frühen Galaxientypen gezählt, wohingegen alle Arten von Spiralgalaxien zu den späten Typen gehören.

Schema nach Hubble nicht vorhanden und es wird hier auch nicht weiter auf sie eingegangen werden.

Wie bereits weiter oben mehrfach erwähnt, unterscheidet sich die Zusammensetzung der Galaxientypen innerhalb von kompakten Galaxiengruppen deutlich von jener des Feldes. [TOVMASSIAN et al. 2006] fanden für die kompakten Gruppen des Hickson-Katalogs einen Anteil von E- und S0-Galaxien von $\langle f_{E(S0)} \rangle$ 0.43. Dieser ist gegenüber dem offenen Feld - mit einem Wert von $\langle f_{E(S0)} \rangle$ 0.15 - deutlich erhöht. Somit heben sich die kompakten Gruppen schon aufgrund ihrer morphologischen Zusammensetzung vom restlichen Feld ab.

1.5.1 Elliptische Galaxien

Flächenphotometrische Untersuchungen von elliptischen Galaxien in HCGs durch [MAMON 1995] ergab, dass sie einem normalen $r^{1/4}$ Gesetz gehorchen. Es wurde zudem festgestellt, dass die E-Galaxien öfter irreguläre als reguläre Isophoten aufweisen und es einen Mangel an E-Galaxien mit boxy-Isophoten - im Verhältnis zum Feld und zu Galaxienhaufen - gibt. Mamon wies daraufhin, dass, wenn Boxiness ein Hinweis auf kürzliches merging ist, in HCGs weniger merging von statten gehen würde, als in anderen Umgebungen.

Weiters fand Mamon heraus, dass 5.5% der von ihm untersuchten E-Galaxien in HCGs B-V Farben aufweisen, welche um 0.1 mag blauer sind, als jene von normalen elliptischen Galaxien mit derselben Leuchtkraft. [RUBIN et al. 1991] untersuchte 12 E-Galaxien in HCGs. Dabei wurden in 11 von ihnen nukleare Emissionslinien detektiert. Dieser hohe Anteil lässt vermuten, dass Interaktionen und Merger Gas in diese Galaxien einfallen lassen. Die blauerer Farben und die nuklearen Emissionen sind Hinweise darauf, dass in kompakten Gruppen Interaktionen zwischen den Galaxien vorkommen.

Bereits bei seiner ersten Durchmusterung fand Hickson heraus, dass der Anteil von elliptischen Galaxien innerhalb der kompakten Gruppen signifikant höher war,

als im Feld. Als später die Geschwindigkeiten der Galaxien gemessen wurden, stellte Hickson fest, dass dieser Anteil mit der Geschwindigkeitsdispersion der Galaxien der Gruppe korrelierte [HICKSON et al. 1988].

Bei ihren Untersuchungen der K-Magnitude stellten [TOVMASSIAN et al. 2006] fest, dass E- und S0-Galaxien in Gruppen im Durchschnitt um 0.72 mag heller sind, als jene im Feld. Daraus schlussfolgern sie, dass viele elliptische und S0-Galaxien in Gruppen das Resultat eines Merging-Prozesses sind - bei der Annahme eines gleichen Masse-Leuchtkraft-Verhältnisses. Dem gegenüber stehen die Ergebnisse von [HICKSON 1999], wonach es innerhalb der kompakten Gruppen praktisch keine vorhandene Morphologie-Dichte Relation gibt. Denn die Leuchtkraft der hellsten elliptischen Galaxie innerhalb einer kompakten Gruppe korreliert nicht, wie vorhergesagt und erwartet, mit der Geschwindigkeitsdispersion der Gruppe.

1.5.2 Spiralgalaxien

Spiralgalaxien nehmen in kompakten Gruppen einen besonderen Status ein, weil man an ihnen bereits durch eine einfache optische Untersuchung Wechselwirkungen mit anderen Galaxien nachweisen kann. Dadurch lassen sich auch Rückschlüsse auf die Natur der kompakten Gruppen schließen.

[RUBIN et al. 1991] untersuchte 33 Spiralgalaxien in HCGs. Bei 2/3 von ihnen zeigten sich pekulare Rotationskurven, welche vielleicht Resultate von Interaktions-Ereignissen sind. [BASSANI et al. 1995] fanden bei ihrer Untersuchung ein sehr ähnliches Ergebnis. Diese pekulare Rotationskurven, sowie die Tatsache, dass es weniger Spiralgalaxien in kompakten Gruppen als im Feld gibt, deuten auf rege Interaktionen zwischen den Mitgliedern hin.

[COZIOL et al. 2000], welche 49 kompakte Gruppen in der südlichen Hemisphäre untersuchten (SCGs), fanden eine ähnliche Morphologie, wie sie bereits aus den HCGs bekannt war. Außerdem merken sie an, dass, wenn HCGs echte, sich durch Interaktionen entwickelnde Strukturen sind, man weiter entwickelte Strukturen dort erwarten könnte, wo weniger Spiralgalaxien zu finden sind. Generell scheinen den Ergebnissen nach, die SCGs weniger weit entwickelt zu sein als die HCGs. Coziol et al. weisen jedoch darauf hin, dass dies an den unterschiedlichen Detektierungsarten - einmal visuell und einmal durch eine automatisierte Routine - liegen könnte.

Eine weitere Eigenschaft von Spiralgalaxien in kompakten Gruppen, ist deren bemerkenswerter Mangel an neutralem Wasserstoff im Vergleich zu Spiralgalaxien in offenen Haufen oder im Feld. Eine mögliche Erklärung hierfür bieten wiederum zahlreiche Interaktionen, welche das Gas aus den Galaxien entfernen. Es scheint jedoch auch einen Zusammenhang zwischen dem Mangel an HI-Gas und der detektierbaren Röntgenstrahlung des Intragruppenmediums zu geben. Es ist daher anzunehmen, dass auch *ram-pressure-stripping* einen nicht unwesentlichen Anteil an diesen Eigenschaften hat.

1.6 Interaktionen in kompakten Gruppen

Aufgrund ihrer Kompaktheit sollte es in kompakten Galaxiengruppen sehr häufig zu Interaktionen zwischen den einzelnen Galaxien kommen. Die Häufigkeit dieser In-

teraktionen könnte Hinweise auf die Beschaffenheit von kompakten Gruppen geben. Bei Wechselwirkungen wird dabei zwischen mehreren verschiedenen Interaktionen unterschieden: Zum einen direkte Verschmelzungen zwischen Galaxien, so genanntes Merging, zum anderen der Nahe Vorbeiflug von Galaxien, *galaxy harassment*, aneinander.

Unter *major merger* versteht man die Wechselwirkung zwischen zwei etwa gleich großen Galaxien (Massenverhältnis zwischen 1:1 und 4:1). Dabei kann es zur Bildung von ausgeprägten Gezeitenarmen und Materiebrücken kommen, in denen sich auch Gezeitenzweige bilden können. Da viele der Galaxien in kompakten Gruppen annähernd gleiche Massen aufweisen, sollten in ihnen auch zahlreiche Gezeitenzweige gebildet werden. Außerdem bilden Materiebrücken und Gezeitenarme visuell leicht zu identifizierte Strukturen zwischen den Galaxien, wodurch sie als eindeutiger Indikator für Interaktionen verwendet werden können.

Intermediate merger treten bei Galaxien auf, deren Massenverhältnis zwischen 4:1 und 10:1 liegt. Es gibt Hinweise darauf, dass durch diese Art von Interaktion Vorläufer von S0-Galaxien entstehen. Da es innerhalb der kompakten Gruppen auch eine Überzahl an elliptischen und S0-Galaxien gibt, ist nicht auszuschließen, dass *intermediate merger* ihren Anteil daran haben.

Die dritte Möglichkeit eines Merging-Prozesses nennt man *minor merger*, der dann passiert, wenn das Massenverhältnis zwischen den beiden Galaxien 1:10 oder mehr beträgt. So geringe Mergingprozesse haben auf die größere Galaxie nur geringe Auswirkungen, die sich aber bei Spiralgalaxien etwa, in pekuliaren Rotationskurven oder Warps niederschlagen. Auch aktive Galaxienkerne (*active galactic nuclei*; AGNs) sind auf solche Merger zurückzuführen.

Als *galaxy harassment* schließlich, wird der rasche Vorbeigang zweier Galaxien aneinander bezeichnet. Dabei kommt es zu keiner Verschmelzung, jedoch werden beide Galaxien durch den Vorbeiflug in ihrer Flugrichtung und ihrer Beschaffenheit gestört. In Galaxienhaufen ist dieses Phänomen öfters zu beobachten. Ob es auch eine wichtige Rolle innerhalb von kompakten Gruppen spielt ist nicht bekannt. Allerdings wäre dies ein wichtiger Punkt zum Untersuchen, da *galaxy harassment* zur Entstehung von Zwergelliptischen Galaxien führen kann.

Einen guten Überblick über Wechselwirkungen liefern [BOURNAUD et al. 2005]. Aus ihrer Arbeit stammen auch die Angaben über die Massenverhältnisse bei den unterschiedlichen Typen von Merging-Prozessen.

[ZEPF 1993] versuchte herauszufinden, wie hoch der Prozentsatz der wechselwirkenden Galaxien in kompakten Gruppen tatsächlich ist. Dazu untersuchte er 239 Galaxien in insgesamt 53 HCGs mit verschiedenen Methoden nach Hinweisen von Wechselwirkungen. Folgende drei Methoden kamen dabei zur Anwendung:

- Optische Hinweise auf *Merging* (wie Materiebrücken und Gezeitenarme)
- Hinweise auf wärmere Farben im fernen Infrarot, als man sie normalerweise erwarten würde (entstanden durch Interaktionen)
- Untersuchung der Rotationskurven der einzelnen Galaxien nach Unregelmäßigkeiten (im speziellen wurde nach sinusförmigen Rotationskurven gesucht, welche nur durch merging Prozesse entstehen sollten)

Nach allen drei Methoden befinden sich etwa 7% der untersuchten Galaxien in einem unterschiedlich fortgeschrittenen merging Prozess. Im Vergleich dazu befinden sich etwa 0.8% aller Galaxien im Universum aktuell in einer merging Phase. Damit liegt dieser Wert weit über dem Durchschnitt, ist jedoch für so kompakte Umgebungen, wie sie in diesen Gruppen vorherrschen, relativ niedrig [BINNEY und TREMAINE 2008]. Jedoch sind die Fehler für die Mergingraten sehr hoch und es könnte durchaus sein, dass bis zu 25% aller Galaxien in kompakten Gruppen aktuell einen Mergingprozess durchlaufen.

Weitere Arbeiten zu diesem Thema konzentrieren sich hauptsächlich auf AGNs. [TOVMASSIAN et al. 2006] schreiben in ihrer Arbeit, dass 3% der Galaxien in HCGs Seyfert-Galaxien sind. Dieser Galaxientyp kann durch charakteristische Emissionslinien und einen hellen Galaxienkern identifiziert werden. Zählt man noch LINER-Galaxien (*low-ionization nuclear emission-line region*) hinzu, so beträgt die Anzahl der aktiven Galaxien in HCGs 18%. Auffallend ist, dass offene Gruppen einen identischen Wert aufweisen, was ein weiterer Hinweis darauf sein könnte, dass kompakte Gruppen in offene Gruppen eingebettet sind.

[COZIOL et al. 2000] erhielten einen Anteil von 41% für die von ihnen untersuchten kompakten Gruppen. Allerdings nicht für HCGs, sondern für SCGs. Sie fanden aber einen ähnlichen Zusammenhang zwischen Leuchtkraft, Aktivität und Morphologie, wie er in HCGs zu finden ist. Sie erstellten weiters eine Morphologie-Aktivitäts-Relation, welche mit jenen in HCGs überwiegend konsistent ist:

- AGNs befinden sich meistens in den leuchtkraftstärksten Galaxien der kompakten Gruppen, während Galaxien ohne Emissionslinien und Galaxien mit Sternentstehung eine normale Verteilung bei den leuchtkraftschwachen Galaxien aufweisen.
- Die gefundenen Galaxien ohne Emissionslinien oder mit AGNs sind beinahe alles Galaxien des frühen Typs, während Galaxien mit Sternentstehung meistens Spiralgalaxien späten Typs sind.
- Die Anzahl von entwickelten Galaxien (Galaxien frühen Typs ohne Emissionslinien) nimmt mit der Anzahl der Mitglieder einer Gruppe signifikant zu.

[HICKSON 1999] fand heraus, dass die nuklearen Regionen von Spiralgalaxien in kompakten Gruppen, eine bis zu einer Magnitude erhöhten Sternentstehungsrate gegenüber Spiralgalaxien aus dem Feld, aufweisen. Er führt diese erhöhte Sternentstehung ebenfalls auf Interaktionen zurück.

1.7 Umgebung von kompakten Gruppen

Um die physische Natur der kompakten Gruppen besser zu verstehen, ist es auch notwendig herauszufinden, in welcher Umgebung sich diese Gruppen befinden. Aufgrund der Auswahlkriterien von Hickson, sollten sich alle Gruppen in einer Umgebung befinden, in der sich in unmittelbarer Nachbarschaft relativ wenige helle Galaxien befinden. Daher müssen sich Untersuchungen zur Umgebung auf größere Bereiche und auf leuchtkraftschwache Galaxien erstrecken.

Da es schwierig ist festzustellen, welche Galaxien in derselben Entfernung wie die Mitglieder der Gruppe liegen ohne auf spektroskopische Daten zurückgreifen zu können, wird für gewöhnlich eine Analyse der Anzahldichte an Galaxien vorgenommen. Eine Erhöhung des typischen Dichtehintergrunds rund um eine kompakte Gruppe kann so auf weitere Mitglieder der Gruppe hindeuten.

Bei solchen Untersuchungen ragen fünf HCGs hervor (HCG004, HCG048, HCG060, HCG65 und HCG094), deren Entfernung und Position darauf schließen lassen, dass sie zum Abell Haufen gehören. Im genauen zu Abell 76, 1060, 1452, 3559 und 2572). Das bedeutet, dass diese Gruppen auf jeden Fall in größere Strukturen eingegliedert sind.

Eine ausführliche Arbeit auf diesem Gebiet haben [BASSANI et al. 1995] vorgenommen, welche 97 der 100 kompakten Gruppen aus dem Hickson Katalog diesbezüglich untersuchten. Für ihre Arbeit bestimmten sie anhand der POSS-Platten die Position, die Magnituden, die Größe und den morphologischen Typ von 2711 Galaxien. Dabei stellten sie fest, dass 16 der beobachteten Gruppen, das heißt 18%, in einer unregelmäßigen Umgebung liegen. Das heißt, dass die Galaxien im beobachteten Feld nicht homogen verteilt sind, so dass es nicht möglich ist einen mittleren Hintergrund für die Galaxiengruppe abzuziehen. Daher kann für sie keine Aussagen in Bezug auf ihre Dichte gemacht werden. Bassani et al. führen diese Unregelmäßigkeit auf ein Übermaß oder ein Defizit von Galaxien nahe der Gruppe hin. Die verbliebenen 73 Gruppen zeigten keine signifikante Abweichung von einem regelmäßigen Hintergrund und konnte daher genauer untersucht werden. Dabei wurden bei 71% von ihnen eine 100 fache Anzahldichteerhöhung innerhalb der Gruppe selbst festgestellt. Dieser hohe Wert ist auf die Kompaktheit der Gruppen zurückzuführen. 82% der HCGs zeigen zudem keine Erhöhung bezüglich der Nachbargalaxien - mit drei Magnituden Unterschied, ausgehend von der hellsten Galaxie der Gruppe und innerhalb eines Radius von 1 Mpc. Das bedeutet, dass nur 18% der Gruppen laut Bassani et al. eine feststellbare Konzentration von Nachbargalaxien innerhalb dieses Bereichs aufweisen.

Eine weitere Möglichkeit die Umgebung von kompakten Gruppen zu untersuchen, ergibt sich, wenn für eine größere Anzahl an Galaxien aus der unmittelbaren Umgebung der Gruppen Rotverschiebungen und Geschwindigkeiten vorliegen. So untersuchten [TOVMASSIAN et al. 2006] mit Hilfe der SDSS die Umgebung von 15 kompakten Galaxiengruppen bis hin zu 2 Mpc auf Galaxien mit gleicher Rotverschiebung wie der Gruppe. Bei 14 von ihnen wurden Galaxien mit Rotverschiebung gefunden und vier davon scheinen sogar in sehr reiche Gruppen eingebettet zu sein. Für HCG058 konnten sogar 15 weitere Mitglieder gefunden werden. Nur eine der untersuchten Gruppen scheint sich also wirklich in einer leeren Umgebung zu befinden.

1.8 Entwicklung von kompakten Gruppen

Eine wichtige Frage bei der Untersuchung von kompakten Galaxiengruppen ist deren weitere Entwicklung. Dazu muss man zuerst von der Annahme ausgehen, dass es sich bei diesen Gruppen in der Tat um physisch echte Gruppen handelt. Dies schließt sowohl isolierte gebundene Systeme, als auch Gruppen, die in größere Strukturen

eingebettet sind, mit ein.

Zuerst einmal wird mittlerweile meistens davon ausgegangen, dass, damit die Anzahl der heutigen kompakten Gruppen erklärt werden kann, regelmäßig neue Galaxien zur Gruppe hinzukommen müssen - sei es nun aus dem Feld oder aber auch aus den offenen Gruppen, in die sie eingebettet sind. Denn ansonsten würden sie sich innerhalb von nur wenigen Orbits in eine elliptische Galaxie verwandeln. So kann die Anzahl der Gruppenmitglieder aber annähernd gleich bleiben ([TOVMASSIAN et al. 2006] und [GOVERNATO et al. 1996]).

[HICKSON 1999] bestimmte mehrere Parameter, welche mit der fortschreitenden Entwicklung einer Gruppe anwachsen sollten. Zum einen sollte die Masse ansteigen, wenn weitere Galaxien in die Gruppe fallen. Mit dem Anwachsen der Masse sollte auch die Geschwindigkeitsdispersion der Gruppe größer werden. Im weiteren Verlauf sollte der Anteil an E- und S0-Galaxien aufgrund von Interaktionen und Merger anwachsen. Dadurch, dass die Halos der einzelnen Galaxien zerstört werden, wenn sie in die Gruppe einfallen, sollte das Halo der gesamten Gruppe größer werden. Zudem sollte die Masse des diffusen Gases durch die Ablösung des galaktischen Gases und die Röntgenleuchtkraft mit der Gasmasse anwachsen. Die Temperatur des Röntgengases wächst zudem mit der Geschwindigkeitsdispersion. Demnach sollten jene Gruppen, die einen größeren Anteil an elliptischen Galaxien aufweisen, jene sein, die auch am weitesten entwickelt sind. Daraus leitet er folgende Konsequenzen ab:

- Physikalische Eigenschaften sollten nicht streng mit dem Radius der Gruppe korrelieren.
- Der Anteil an Spiralgalaxien sollte invers mit der Geschwindigkeitsdispersion der Gruppe korrelieren.
- Die Röntgenleuchtkraft und die Temperatur sollten invers mit dem Anteil der Spiralgalaxien korrelieren.
- Die Masse und die Leuchtkraft der größten elliptischen Galaxie sollte mit der Geschwindigkeitsdispersion der Gruppe korrelieren.
- Man sollte ein breites Spektrum an Sternen verschiedenen Alters innerhalb der Galaxien von kompakten Gruppen finden.
- Wenn Kugelsternhaufen und / oder Zwerggalaxien durch Interaktionen und Merger erzeugt werden, sollte die spezifische Häufigkeit dieser Objekte mit der Geschwindigkeitsdispersion der Gruppe korreliert sein.

Schließlich sollte noch auf die Frage nach dem Endstadium von kompakten Gruppen - bevor sie in einer großen elliptischen Feldgalaxie enden - eingegangen werden. [MENDES DE OLIVEIRA und CARRASCO 2007] untersuchen in ihrer Arbeit die Theorie, dass fossile Galaxiengruppen die Reste von kompakten Gruppen sind. Denn fossile Gruppen könnten durch dynamische Reibung und einen letzten abschließenden Merger zu einer einzelnen Galaxie verschmelzen. Mendes de Oliveira et al. fanden

heraus, dass die fossilen Galaxiengruppen in ihrer Untersuchung alle über sehr ausgeprägte Rotsequenzen verfügen und durch Galaxien des frühen morphologischen Typs dominiert werden.

Jedoch besitzen diese Gruppen auch Massen, eine Kinematik und eine Umgebung, die sich sehr von jener kompakter Gruppen unterscheidet. Vor allem die Tatsache, dass sich kompakte Gruppen für gewöhnlich nicht in jenen dichten Umgebungen finden, in denen sich fossile Gruppen normalerweise aufhalten, spricht stark gegen die These.

Eine Ausnahme dazu bildet die kompakte Gruppe CG6 aus dem Katalog von [LEE et al. 2004] - der Katalog basiert auf Daten aus der Sloan Digital Sky Survey. Diese Gruppe weist ähnliche Eigenschaften wie eine typische fossile Gruppe auf und ist auch von einer großen Anzahl von wenig leuchtkraftstarken Galaxien innerhalb des Gravitationspotentials umgeben.

Neben den oben genannten Bedingungen bezüglich Masse, Kinematik und Umgebung sollte zudem noch die hellste Galaxie innerhalb einer kompakten Gruppe eine ähnliche Leuchtkraft wie die hellste Galaxie in einer fossilen Gruppe aufweisen. Zudem sollte die Umgebung der kompakten Gruppe nicht nur dicht bevölkert sein, sondern auch eine ähnliche Geschwindigkeitsdispersion und Masse wie die Umgebung einer fossilen Gruppe haben.

Drei mögliche Kandidaten für eine zukünftige fossile Gruppe aus dem Hickson Katalog sind HCG031, HCG079 und HCG092. Summiert man nämlich die Leuchtkräfte der einzelnen Galaxien von HCG079 auf, so erhält man eine absolute Helligkeit von $M_R = -22.5$. Dies liegt im Bereich der Helligkeit einer fossilen Galaxiengruppe. Ähnliches trifft auch HCG031 und HCG092 zu. Allerdings liegt letztere in einer sehr leeren Umgebung, wodurch sie nie zu einer fossilen Gruppe werden kann.

So schlussfolgern [MENDES DE OLIVEIRA und CARRASCO 2007], dass die meisten bekannten kompakten Gruppen bei einer Entfernung $z \approx 0$ nur sehr unwahrscheinliche Kandidaten für die Entstehung von fossilen Gruppen sind. Für weiter entfernte Gruppen wie CG6 könnte dies jedoch nicht gelten. Zudem merkten sie noch an, dass man erst vor kurzem ein weiteres, möglicherweise sehr dichtes System, bei einer Entfernung von $z = 0.39$ gefunden hat, welches sich einmal in eine fossile Gruppe umwandeln könnte.

Es bleibt dann jedoch immer noch die Frage offen, ob sich kompakte Gruppen am Ende ihrer Entwicklung in leuchtkraftstarke elliptische Feldgalaxien verwandeln, oder nicht. Die Indizien, welche anhand von Beobachtungen diesbezüglich gesammelt wurden, sind nicht eindeutig und bedürfen sicherlich noch weiterer, genauerer Untersuchungen [BASSANI et al. 1995].

Kapitel 2

Zwerggalaxien in kompakten Galaxiengruppen

Grundsätzlich ist zu sagen, dass die terminologische Trennung zwischen Zwerggalaxien und normalen oder massereichen Galaxien schlecht definiert ist und bei verschiedenen Autoren auf unterschiedliche Art und Weise gebraucht wird. Jedoch werden Zwerggalaxien, wie auch ihre großen Vertreter, in unterschiedliche Typen eingeteilt. Im Allgemeinen spricht man von einer Zwerggalaxie, wenn das Masse zu Leuchtkraftverhältnis 1/10 oder 1/100 beträgt und $M_V = -18$ mag erreicht [GREBEL 2001]. In jedem Fall haben Zwerggalaxien Eigenschaften, die sich zum Teil drastisch von ihren größeren Vertretern abheben, was darauf hindeutet, dass sie einen anderen Entstehungsprozess durchlaufen. So besteht etwa die Möglichkeit, dass Zwerggalaxien aus gravitativen Wechselwirkungen entstehen - wie es sicherlich bei Gezeitenzwergen der Fall ist [HUNSBERGER et al. 1996].

Ein generelles Problem bei der Detektion von Zwerggalaxien ist ihre geringe Leuchtkraft, weshalb selbst in der Lokalen Gruppe immer wieder neue Zwerggalaxien gefunden werden. Dieses Problem wird mit zunehmender Entfernung der zu untersuchenden Galaxien immer größer. Dies könnte auch ein Grund dafür sein, dass wir heute am unteren Ende der Massenverteilung, beziehungsweise am schwachen Ende der Leuchtkraftfunktion, weniger Galaxien finden, als man nach neueren Erkenntnissen erwarten würde. Es ist daher, trotz der Größe und Tiefe des angestrebten Samples dieser Arbeit davon auszugehen, dass am schwachen Ende der Leuchtkraftfunktion immer noch Zwerggalaxien fehlen werden.

Eine gute Zusammenfassung der unterschiedlichen Typen von Zwerggalaxien mit samt ihren photometrischen Eigenschaften findet sich bei [GREBEL 2001].

2.1 Typen von Zwerggalaxien

Im Folgenden sind die verschiedenen Typen von Zwerggalaxien aufgelistet, zusammen mit ihren wichtigsten Eigenschaften, wie Helligkeit und Masse. Zudem wird kurz darauf eingegangen, inwieweit der jeweilige Typus im Rahmen dieser Arbeit für kompakte Gruppen relevant ist und wie die Erwartungshaltung bezüglich ihrer Häufigkeit in kompakten Galaxiengruppen ist.

2.1.1 Kompakte Blaue Zwerggalaxien

Blue compact dwarfs (BCDs) sind Zwerggalaxien mit einer hohen zentralen Flächenhelligkeit von typischerweise $\mu_V \leq 19 \text{ mag arcsec}^{-2}$. Diese hohe Leuchtkraft resultiert aus starken Starbursts, die im Zentrum konzentriert sind. Die Masse des HI Gases in den BCDs beträgt $\leq 10^9 M_\odot$ und kann unter Umständen die der stellaren Masse übersteigen. Teile des weiter von der Galaxie entfernten Gases können jedoch auch kinematisch vom Rest der Galaxie entkoppelt sein. BCDs haben außerdem generell sehr niedrige Metallizitäten von etwa 1/3 bis zu 1/30 der solaren. [HOFFMAN et al. 1990] beschreiben BCDs als Zwergirreguläre Galaxien mit einer hohen Flächenhelligkeit und erklärt sie als einen Untertyp der Irregulären Galaxien, da sie ähnliche dynamische Massen, blaue- und HI-Leuchtkräfte aufweisen. [PAPADEROS et al. 1996] schreibt jedoch, dass es zwei Populationen von BCDs zu geben scheint. Die zweite Population, welche etwa 20% ausmacht, besitzt eine leuchtkraftschwache, elliptische Komponente. Es besteht daher die Möglichkeit, dass BCDs die Übergangspopulation zwischen zwergelliptischen und zwergirregulären Galaxien bilden.

Da man BCDs hauptsächlich weit entfernt von Galaxienhaufen oder Gruppen antrifft, wird erwartet, keine von ihnen innerhalb von kompakten Gruppen zu finden. Allerdings wird im Rahmen dieser Arbeit nicht festzustellen sein, ob sich in den untersuchten Gruppen tatsächlich BCDs befinden oder nicht, da ihre Ähnlichkeit mit Zwergirregulären Galaxien dafür zu groß ist.

2.1.2 Zwergsphäroidale Galaxien

Dwarf spheroidal galaxies (dSphs) sind diffuse Galaxien mit einer niedrigen Flächenleuchtkraft, wenig Gas und einer geringen zentralen Konzentration. DSphs sind mit totalen Massen von $M_{tot} \sim 10^7 M_\odot$ und Flächenhelligkeiten in dem Bereich von $\mu_V \geq 22 \text{ mag arcsec}^{-2}$ die masseärmsten und die leuchtkraftschwächsten aller bekannten Zwerggalaxientypen. DSphs scheinen zudem nicht rotationsgestützt zu sein, jedoch deutet ihre Geschwindigkeitsdispersion auf eine signifikante Komponente aus dunkler Materie hin. Für gewöhnlich findet man die dSphs in nächster Nachbarschaft zu massereichen Galaxien.

[KARACHENTSEV et al. 2005] führten eine Gesamthimmelsdurchmusterung durch, bei der sie insgesamt 88 dSphs fanden. Das waren etwa 100 Galaxien weniger, als sie für das beobachtete Volumen erwartet hatten. Auffallend war zudem, dass nicht eine der gefundenen Galaxien innerhalb einer kompakten Gruppe lag, so dass es scheint, als wäre diese Umgebung frei von diesem Galaxientyp. Wie auch schon bei den kompakten blauen Zwerggalaxien, so liegt auch bei diesem Galaxientyp das Problem darin, dass dSphs im Rahmen dieser Arbeit nicht eindeutig gekennzeichnet werden können. Abgesehen davon, dass es aufgrund der Ergebnisse der Arbeit von Karachentsev et al. in kompakten Gruppen ohnedies nicht vorzukommen scheinen, sind sie aller Wahrscheinlichkeit nach zu dunkel, um mit den zur Verfügung stehenden Mitteln detektiert zu werden.

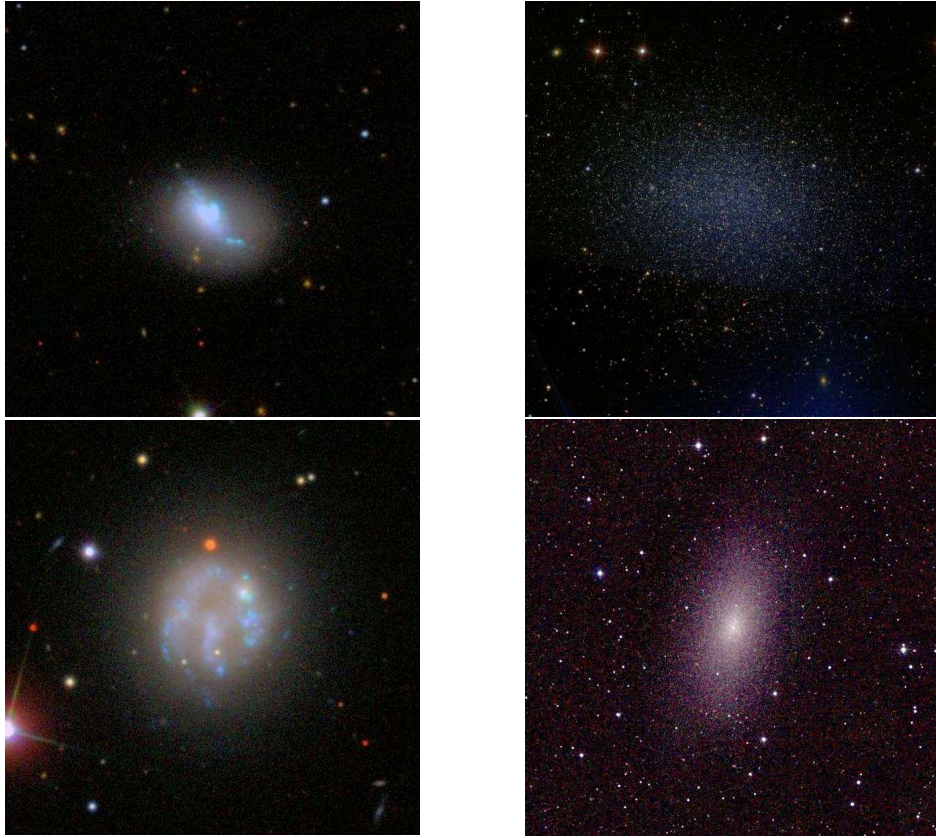


Abbildung 2.1: Vier der fünf verschiedenen, hier präsentierten Formen von Zwerggalaxien. Links oben: NGC3353, eine dSph; rechts oben: Leo1, eine BCD-Galaxie; rechts unten: NGC2537, eine dIrr; und links unten: NGC205, eine dE-Galaxie. Mit Ausnahme von NGC205, stammen alle Bilder aus der SDSS. Das Bild zu NGC205 stammt aus der NED-Datenbank.

2.1.3 Gezeitenzwerge

Die Bildung von selbstgravitierenden Objekten in Gezeitenarmen wurde bereits von [ZWICKY 1956] vermutet. Diese *Tidal dwarf galaxies* (TDGs) findet man oft in den Gezeitenarmen von interagierenden Galaxien. Da kompakte Gruppen einen relativ hohen Anteil an interagierenden Galaxien aufweisen, sollte man hier auch sehr viele TDGs finden. Bei ihrer Untersuchung von 42 verschiedenen HCGs fanden [HUNSBARGER et al. 1996] in sieben von ihnen Gezeitenzwerge.

Für gewöhnlich entstehen die Zwerge 20 bis 100 kpc vom mergenden Objekt entfernt. Da sie hauptsächlich aus abgestreiftem, bereits mit Metallen angereichertem Material entstehen, sind sie für Zwerggalaxien sehr metallreich und auch sehr reich an Gas. Dabei können sie eine Größe wie die der Magellanschen Wolken erreichen [DUC et al. 2000]. Zudem weisen sie eine sehr hohe Sternentstehungsrate auf, die so hoch ist, wie jene von BCDs. Als einziger Zwerggalaxientyp weisen sie keine nachweisbare Dunkle Materie auf. Ihre Massen, Größen und auch der Gasanteil hängen sehr von den Bedingungen innerhalb ihrer Muttergalaxie ab.

Generell weisen TDGs typische Eigenschaften von Zwergirregulären Galaxien und von BCDs auf. Sie haben ähnliche Flächenhelligkeiten und sie weisen dieselbe

blaue Farbe und einen starken Burst von Sternentstehung auf. Jedoch haben sie im Vergleich mit den anderen Zwerggalaxien eine höhere Metallizität.

Unter welchen Bedingungen diese Zwerggalaxien jedoch genau entstehen, ist immer noch nicht bekannt. Auch über die Fragen zu ihrer weiteren Entwicklung wird viel spekuliert. Es gibt allerdings die Möglichkeit, dass es sich bei manchen Zwergirregulären Galaxien und Zwergspherialen um TDGs handelt, die sich bereits sehr früh gebildet haben [GREBEL 2001].

Im Rahmen dieser Arbeit werden die meisten detektierten Gezeitenzwerge wahrscheinlich als Zwergirreguläre Galaxien klassifiziert werden, da sie sehr ähnliche photometrische Eigenschaften besitzen. Aufgrund der möglichen Bandbreite bezüglich ihrer physikalischen Eigenschaften ist es aber auch durchaus möglich, dass viele Gezeitenzwerge aufgrund zu geringer Leuchtkraft der Detektion entgehen werden.

2.1.4 Zwergirreguläre

Dwarf irregular Galaxies (dIrrs) werden im optischen durch helle HII Regionen definiert und sind an ihrer unregelmäßigen Struktur gut zu erkennen. In massereichen dIrrs ist das HI-Gas meistens weiter ausgedehnt als selbst die älteste in der Galaxie enthaltene Population.

Für dIrr-Galaxien sind Helligkeiten von $\mu_V \lesssim 23 \text{ mag arcsec}^{-2}$ und Massen von $M_{\text{tot}} \lesssim 10^{10} M_{\odot}$ charakteristisch. Da in ihnen oft Sternentstehung stattfindet, sind sie meistens blauer, als etwa zwergelliptische Galaxien, wodurch sie sich von diesen relativ klar abgrenzen. Es scheint, dass einige der massereicheren zwergirregulären sogar in der Lage sind, über die gesamte Hubblezeit hinweg neue Sterne zu produzieren.

Das Vorkommen von dIrr-Galaxien ist breit gefächert. Man findet diesen Galaxientyp sowohl in Galaxienhaufen, als auch in Galaxiengruppen und im Feld. Allerdings scheint es, als ob es eine geringere Konzentration dieses Galaxientyps in der Nähe von massereicheren Galaxien gibt.

Es wird daher erwartet, dass Zwergirreguläre Galaxien auch in kompakten Gruppen anzutreffen sind. Jedoch sollte ihre Zahl geringer als etwa im Feld sein, da die Anwesenheit zahlreicher massereicher Galaxien nicht ihrer üblichen Umgebung entspricht. Außerdem sind Zwergirreguläre für gewöhnlich diffuser und daher schwieriger zu detektieren als zwergelliptische Galaxien, wodurch einige sicherlich aus dem Sample herausfallen werden. Die Zahl der als dIrr definierten Galaxien wird allerdings voraussichtlich höher ausfallen, als ihre tatsächliche Zahl, da Gezeitenzwerge, welche in kompakten Gruppen relativ häufig zu finden sein sollen, sehr ähnliche photometrische Charakteristika aufweisen und daher ebenfalls als dIrr-Galaxien eingeordnet werden.

2.1.5 Zwergelliptische

Dwarf elliptical galaxies (dEs) sind sphäroidal oder elliptisch, kompakt, haben eine hohe zentrale Sterndichte und sind normalerweise schwächer als $M_V = -17 \text{ mag}$. Normalerweise werden sie in der Nähe von massereichen Galaxien gefunden und weisen nur wenig oder gar kein detektierbares Gas auf. Aufgrund dieser Eigenschaft ist

auch anzunehmen, dass in kompakten Gruppen eine größere Anzahl an dEs anzufinden ist.

Dieser Galaxientyp besitzt folgende charakteristische Eigenschaften: $\mu_V \lesssim 21$ mag arcsec⁻² und $M_{tot} \lesssim 10^9 M_\odot$. Ihr Flächenhelligkeitsprofil wird, wie auch bei riesigen elliptischen Galaxien, am besten durch ein de Vaucouleursgesetz oder ein exponentielles Profil beschrieben. Zwergelliptische Galaxien lassen sich auch sehr gut durch ein Sérsic-Profil beschreiben, worauf in Abschnitt 4.3 genauer eingegangen wird.

Dieser Galaxientyp ist in Galaxienhaufen dominierend. Vor allem in den dichten Kernen der Galaxienhaufen sind sie übermäßig präsent.

Es wird davon ausgegangen, dass dieser Galaxientyp auch der am häufig vorkommenste innerhalb von kompakten Gruppen ist. In erster Linie deswegen, da sich dEs rund um ihr Elternsystem entwickelt haben sollen, und dann mitsamt ihrem Elternsystem in die kompakte Gruppe hineingezogen wurden. Es gibt jedoch auch Überlegungen dazu, ob dEs in einer so turbulenten Umgebung, wie sie kompakte Gruppen bieten, überhaupt überleben könnten. Zudem wäre es möglich, dass sie, durch Interaktionen herausgerissenes Gas aufnehmen und Sternentstehung wieder startet. Dadurch würden dE blauere Farben aufweisen, als man es gemeinhin annimmt, was eine morphologische Zuordnung aufgrund von Farben erschweren würde.

2.2 Zwerggalaxien in kompakten Gruppen

Für diese Arbeit waren nicht alle bekannten Typen von Zwerggalaxien relevant. Denn nur einige wenige unterschiedliche Arten kommen in kompakten Gruppen vor, beziehungsweise können nur drei Gruppen mit der verwendeten Methode unterschieden werden.

dSph sind schlicht zu leuchtschwach und zu diffus, als dass sie auf die Entfernung, welche die meisten HCGs ausweisen, sichtbar wären. Zudem sollten sie - ebenso wie BCDs - in der Umgebung von kompakten Gruppen gar nicht erst zu finden sein. Folglich bleiben hauptsächlich dIrrs und dEs.

Obwohl kompakte Gruppen - und hierbei insbesondere die HCGs - schon so oft untersucht wurden, wurde die Zwerggalaxienpopulation bis jetzt stark vernachlässigt. Dies lag jedoch auch daran, dass man für eine solche Untersuchung ein weites Feld in einer großen Tiefe untersuchen muss. Dabei zeigten Untersuchungen des Virgo-Haufens durch [KARACHENTSEV et al. 2005], dass darin etwa doppelt so viele Zwerggalaxien zu finden waren als im Feld. Ähnliches könnte auch für kompakte Gruppen gelten. Zudem sind auch isolierte elliptische Feldgalaxien, von denen man annimmt, dass sie die Relikte von kompakten Gruppen sind, von einer Population von Zwerggalaxien umgeben. Es wäre interessant herauszufinden, ob sich diese beiden Populationen ähneln.

Die grundlegende Frage betrifft jedoch die Verteilung der morphologischen Typen der Zwerggalaxien in kompakten Gruppen. Zudem könnten kompakte Gruppen, aufgrund der häufigen Interaktionen von Galaxien, eine Bildungsstätte von Zwerggalaxien sein. [TEMPORIN et al. 2003] geht sogar soweit zu sagen, dass mehr als die Hälfte aller Zwerggalaxien in kompakten Gruppen das Resultat der Interaktion von massereichen Galaxien sein könnten. Dies würde jedoch bedeuten, dass die Annah-

me von [KRUSCH et al. 2003] und [KRUSCH et al. 2006] falsch wäre, nach der der Großteil der Zwerggalaxienpopulation aus zwergelliptischen bestehen sollten. Denn frisch entstandene, junge Galaxien sollten hauptsächlich TDGs sein, welche von ihren Farben her den dIrr-Galaxien sehr ähneln.

Bis jetzt gab es drei größere Arbeiten, welche sich eingehend mit der Zwerggalaxienpopulation in den HCGs beschäftigten: [MENDES DE OLIVEIRA und BOLTE 1999] und [CAMPOS et al. 2004] untersuchten HCG68 und HCG044. Krusch untersuchte im Rahmen ihrer Dissertation die Gruppen HCG 16, 19, 30, 31 und 42 [KRUSCH et al. 2003], [KRUSCH et al. 2006], [BOMANS et al. 2006]. [HUNSBERGER et al. 1996] untersuchte im ganzen 42 HCGs. Die Aussagen und die Vorgehensweise dieser Arbeiten sind in den folgenden Subkapiteln zusammengefasst.

2.2.1 Arbeit von Mendes de Oliveira

[MENDES DE OLIVEIRA und BOLTE 1999] suchten mit dem 0.9m Kitt Peak National Observatory (KPNO) die Gruppe HCG068 im B und R Band in einem Feld von 0.72 deg^2 nach Zwerggalaxien ab. Dabei war es das Ziel, die Clustereigenschaften von Zwerggalaxien zu studieren und die Leuchtkraftfunktion der Gruppe festzustellen. Bei ihrer Auswertung konnten sie leuchtkraftschwache Zwerggalaxien bis zu einer Isophote von $\mu_R = 25.3 \text{ mag arcsec}^{-2}$ katalogisieren. Die kompakte Gruppe selbst besteht laut [HICKSON 1982] aus fünf Mitglieder und liegt bei $z = 0.008$. Vorhergehende Untersuchungen haben bereits 54 zusätzliche Mitglieder mit gleicher Rotverschiebung in der Umgebung der Gruppe aufgezeigt, was darauf hin deutet, dass die Gruppe in eine deutlich größere Struktur eingebettet ist.

Von den 3000 bis 4000 Objekten, welche [MENDES DE OLIVEIRA und BOLTE 1999] pro Feld ($24' \times 24'$) in ihrem Mosaik detektierten wählten sie jene aus, welche eine zentrale R-Helligkeit von $\mu_0 > 22.0 \text{ mag arcsec}^{-2}$ und eine Skalenlänge $\alpha > 2.0''$ aufwiesen. Die schließlich gefundenen Zwerggalaxien weisen Flächenhelligkeiten und Größen auf, welche mit denen im Virgo vergleichbar sind. Aber die Anzahldichte ist einige Male niedriger. Die räumliche Verteilung von leuchtkraftschwachen Zwerggalaxien in HCG068 scheint zudem im Zentrum der Gruppe konzentriert zu sein, wobei sie anmerken, dass es einen Mangel an Zwerggalaxien in direkter Umgebung der Gruppe zu geben scheint. Es ist möglich, dass Zwerggalaxien in so geringer Entfernung durch die gravitativen Wechselwirkungen bereits vernichtet wurden.

Im Ganzen fanden sie 45 leuchtkraftschwache Galaxien bei ihrer Untersuchung. Aufgrund von Monte Carlo Berechnungen gingen sie davon aus, dass 36 dieser Galaxien auch tatsächlich mit der Gruppe assoziiert sind. Von den 26 hellsten und ausgedehntesten Galaxien innerhalb der Gruppe konnten sie zudem ein Helligkeitsprofil erstellen. Dabei konnte die Mehrzahl der gefundenen Galaxien mit einem exponentiellen Profil dargestellt werden.

Die Autoren merken in ihrer Arbeit an, dass die Beobachtungen auf keinen Fall tief genug waren, um dSph in dieser Distanz zu beobachten, aber ausreichend, um einige Virgo-ähnliche leuchtkraftschwache (LSB) Zwerggalaxien zu detektieren. Eine Hochrechnung am Ende der Auswertung ergab schließlich, dass die Oberflächendichte, der Zwerg-LSB in HCG068 mehrere Male niedriger ist, als jene im Virgo-Haufen.

2.2.2 Arbeit Krusch

[KRUSCH et al. 2003] untersuchten 5 HCGs (HCG016, HCG019, HCG030, HCG031 und HCG042) mit dem ESO/MPI 2.2m Teleskop in *La Silla* im B- und im R-Band (weitere Informationen zu diesen Untersuchungen finden sich in [KRUSCH et al. 2006] und [BOMANS et al. 2006]). Für diese Untersuchung verwendeten sie einen *Wide Field Imager* (WFI), um die Zwerggalaxienpopulation und deren Verteilung innerhalb der Gruppen zu erforschen. Außerdem sollten die Zwerggalaxien dazu dienen herauszufinden, ob die Gruppen echte physikalische Systeme oder nur transiente Konfigurationen sind. Diese fünf HCGs wurden ausgewählt, da sie von *La Silla* gut zu beobachten sind und nicht weiter als 50 Mpc entfernt sind.

Ihre Beobachtungsfelder mit dem WFI waren $0.54^\circ \times 0.57^\circ$ groß. Die gemachten Beobachtungen hatten ein Flächenhelligkeitslimit von $27 \text{ mag arcsec}^{-2}$ im B-Band und $26 \text{ mag arcsec}^{-2}$ im R-Band.

Die Analysen der Umgebungen zeigten rasch, dass die beobachteten HCGs keineswegs isoliert, sondern in größere Strukturen eingebettet sind. Zur Untersuchung der Zwerggalaxienpopulation zogen sie - aufgrund nicht vorhandener Spektren - erstmalig ein Farben-Helligkeitsdiagramm (FHD) heran, da man festgestellt hatte, dass verschiedene Typen von Zwerggalaxien verschiedene Bereiche innerhalb des Diagramms einnahmen. Eine genaue Beschreibung des Verfahrens findet sich in Kapitel 3.

In einer ersten Auswahl fanden sie 200 bis 500 Kandidaten pro Gruppe, wobei sie feststellten, dass es relativ wenig blaue Zwerggalaxien innerhalb der Gruppen gibt, dafür jedoch die Region in der roten Sequenz gut bevölkert ist. Diese Galaxien wären daher Kandidaten für dEs und dSph Galaxien. Wobei davon auszugehen ist, dass wenige davon wirklich dSph waren, da diese aller Voraussicht nach zu dunkel und diffus wären, um sie mit diesem Teleskop zu finden. Die gefundenen potenziellen Zwerggalaxien zeigen eine klare Konzentration zum Zentrum der Gruppen hin und die räumliche Ausdehnung der Population variierte stark von Gruppe zu Gruppe, erreichte jedoch nicht den typischen Hintergrundlevel bei einem Radius von 200 kpc. Daraus schlussfolgerten Krusch et al., dass die Gruppen sehr viel ausgedehnter sein müssten, als sie sie beobachtet hatten. Die morphologische Auswertung der einzelnen Gruppen identifizierte mehr als 76% der Galaxien als dEs. Dabei ist jedoch anzumerken, dass sie sich bei ihrer Zuordnung nur auf die Galaxien in einer 2σ -Umgebung rund um die Rotsequenz beschränkten und alle anderen Objekte außer acht ließen.

Für alle gefundenen Galaxien wurde anschließend eine Leuchtkraftfunktion (LF) bis in Bereiche von $M_B = -12.5$ gelegt, indem alle Messungen zu einer mittleren Distanz zusammengefasst wurden. Das daraus erhaltene Diagramm zeigte, dass die gesamte erhaltene LF nicht konsistent mit einer einzelnen Schechter-Funktion ist, sehr wohl aber mit einer bimodalen. Das gefundene steile Ende der LF der Gruppen ist schwer zu verstehen, da die Konditionen innerhalb von HCGs nur in dichten Kernen der Gruppen wie in Galaxienhaufen sind, und nicht in den äußeren Bereichen, wo die meisten Zwerggalaxien gefunden wurden. Vergleicht man allerdings die Vorhersagen der CDM-Theorie (*cold dark matter*) mit dem schwachen Ende der Leuchtkraftfunktion innerhalb der HCGs, so deutet vieles darauf hin, dass die von Krusch et al. erhaltenen Ergebnisse richtig sind.

Die Ausdehnung der Gruppen berechneten sie über die dynamische Masse. Dabei stellte sich jedoch das Problem ein, dass die kompakten Gruppen, die sie untersucht hatten, ebenso wie die meisten anderen kompakten Gruppen, triaxial und nicht sphärisch symmetrisch aufgebaut sind. Diese nicht isotrope Verteilung ist auch bei Galaxienhaufen und Galaxiengruppen zu beobachten und kann vor allem durch den Einfall von Galaxien und zusätzlichem Material von außen zustande kommen. Dadurch können die berechneten Massen Fehler von bis zu 20% aufweisen. Dies schlägt sich dann auch, da die dynamische Masse mit einfließt, in dem Radius für die Gruppe nieder. Für ihre berechneten Ausdehnung ihrer Gruppen erhielten Krusch et al. Größen von 2 bis 5 Mpc. Dadurch würden kompakte Gruppen in der Größenordnung von Galaxienhaufen liegen, wodurch es sicher erscheint, dass sie in größere Substrukturen eingebettet sind. Diese sehr großen Radien stehen aber auch in starkem Widerspruch zu den Ergebnissen anderer Arbeiten. [HICKSON et al. 1992] ermittelte für seine ursprünglich gefundenen Gruppenmitglieder einen typischen Radius von 70 kpc. [DE CARVALHO et al. 1994] errechneten bei ihrer Arbeit einen mittleren Durchmesser von 309 kpc. Anzunehmen ist, dass der tatsächliche Radius für eine kompakte Gruppe irgendwo zwischen diesen beiden Extremen liegt.

Aufgrund dessen, dass für diese Arbeit die Dissertation von Dr. Krusch zur Verfügung stand, in der sie detailliert ihre Arbeitsschritte erklärt, orientiert sich der Aufbau und die angewendeten Methoden dieser Arbeit stark an jener von Dr. Krusch.

2.2.3 Arbeit von Hunsberger

[HUNSBERGER et al. 1996] untersuchten mit dem 1.5m Teleskop auf Mt. Palomar 42 HCGs. 7 davon (HCG001, HCG016, HCG036, HCG031, HCG38, HCG092 und HCG96) wurden dann von Hunsberger et al. im Detail erforscht. Ziel der Untersuchung war es herauszufinden, wie groß die Anzahl der Zwerggalaxien ist, die aufgrund von gravitativen Wechselwirkungen innerhalb der kompakten Gruppen entstehen.

Die Gruppen wurden aufgrund ihrer Größe von maximal 7' und ihrer Entfernung von $z \leq 0.05$ ausgewählt. Dadurch würden helle Zwerge mit $M_R > -15$ noch über dem Detektionslimit des Teleskops liegen. Die gemachten Aufnahmen wurden mit den Programmen FOCAS (*Faint Object Classification and Analysis System*) zur Identifikation von nicht-stellaren Objekten und IRAF reduziert. Mit dem Programm FOCAS wurden nur fünf Sterne identifiziert, daher scheint die Kontamination durch Sterne kein großes Problem bei dem Sample zu sein. Die schließlich erhaltenen Zwerggalaxienkandidaten befinden sich in einem Bereich zwischen $-17.7 \leq M_R - 5 \log h_{75} \leq -11.4$. Hunsberger et al. merken jedoch an, dass sie davon ausgehen, dass nicht alle gefundenen Zwerggalaxienkandidaten physisch zu den kompakten Gruppen gehören werden. Zusätzlich wurden die Bilder noch nach deutlichen Hinweisen auf Interaktionen zwischen den Galaxien durchsucht. Dabei stellten sie fest, dass etwa die Hälfte der untersuchten Gruppen deutliche Hinweise auf Wechselwirkungen aufweisen.

Im Ganzen konnten sie 47 potenzielle Zwerggalaxien innerhalb der sieben Gruppen identifizieren. Sie errechneten, dass 42 davon wahrscheinlich physisch wirklich zu den Gruppen gehörten. Unter allen gefundenen neuen Zwerggalaxien befanden sich 15 potenzielle Gezeitenzwerge, verteilt auf sieben Gruppen.

Tabelle 2.1: Die Population von kompakten Gruppen, untersucht nach [HUNSBERGER et al. 2000]. Die Zahlen der Zwerggalaxien (1) beinhalten alle Objekte innerhalb des Leuchtkraftbereichs von $-18.0 < M_R - 5\log h_{75} < -14.0$

Beschreibung der Untermenge	Riesen pro Gruppe	Zwerge pro Gruppe ¹	Zwerge pro Riese
Alle Gruppen (39)	4.2	7.2 ± 1.1	1.7 ± 0.3
mit Gezeitenzwerge (7)	4.1	11.4 ± 2.3	2.8 ± 0.6
ohne Gezeitenzwerge (32)	4.2	6.2 ± 1.3	1.5 ± 0.3
mit E/S0 an 1. Stelle (14)	4.7	11.5 ± 2.4	2.4 ± 0.5
mit S an 1. Stelle (25)	3.9	3.7 ± 1.3	0.9 ± 1.3
mit Röntgenemission (7)	4.6	15.0 ± 2.8	3.3 ± 0.6
ohne Röntgenemission (32)	4.1	3.4 ± 1.2	0.8 ± 0.3

Die errechnete Leuchtkraftfunktion mit diesen gefundenen Galaxien wies $\alpha = -1.75 \pm 0.27$ auf, womit sie steiler ist, als die von [RIBEIRO et al. 1994] ermittelte mit $\alpha = -0.82 \pm 0.15$. Sie merken jedoch an, dass die Unsicherheiten dieser Leuchtkraftfunktion relativ hoch sind, da es absolut nicht sicher ist, welche und wie viele Zwerggalaxien wirklich zu den Gruppen gehören und da es große Unsicherheiten beim Abzug des lokalen Himmelshintergrunds gibt. Zudem weisen sie darauf hin, dass ihre Aufnahmen, welche im R-Band gemacht wurden, auch H α Emissionen beinhalten und daher die Leuchtkraft der Galaxien durch die Emission ionisierten Gases kontaminiert werden könnte.

Eine Untersuchung der Massen der Gezeitenzwerge brachte für Hunsberger et al. eine Überraschung. Es nahm die Leuchtkraft der Zwerggalaxien mit Abstand von ihrem Elternsystem zu. Dadurch befinden sich also leuchtkraftschwache und massearme Galaxien nahe der Gruppe selbst. Das steht im Gegensatz zu der Theorie, dass massearme Objekte nahe an ihren Elternsystem in solchen Umgebungen, wie sie in kompakten Gruppen herrschen, überleben könnten.

[HUNSBERGER et al. 2000] betrachteten auch die Subpopulationen in 39 kompakten Gruppen. So stellten sie fest, dass die Anzahl der Zwerggalaxien in Gruppen mit Gezeitenzwerge fast doppelt so hoch ist, wie in Gruppen ohne Gezeitenzwerge. Auch Gruppen, mit frühen Galaxientypen und Gruppen in denen es Röntgenemissionen gibt, scheinen eine deutlich höhere Zwerggalaxienpopulation zu besitzen, als Gruppen, bei denen dies nicht der Fall ist. Eine genaue Auflistung der Zahlen ist in Tabelle 2.1 zusammengefasst. Die Zahlen der Zwerggalaxien pro Gruppe stimmen relativ gut mit den Ergebnissen von [DE CARVALHO et al. 1994] überein. Diese kommen bei 22 untersuchten kompakten Gruppen auf 10 Zwerggalaxien pro Gruppe.

Es deutet somit alles darauf hin, dass Interaktionen einen wichtigen Beitrag bei der Entstehung von Zwerggalaxien in kompakten Gruppen leisten. Etwas, dass bei der Datenreduktion und Auswertung der Zwerggalaxien bei dieser Arbeit berücksichtigt werden sollte. Nach den Berechnungen von [HUNSBERGER et al. 1996] könnten bis zu 56% der Zwerggalaxien in kompakten Gruppen Gezeitenzwerge sein. Da Gezeitenzwerge nach der Methode der Rotsequenz von [KRUSCH et al. 2006] wie Zwergirreguläre aussehen würden, stehen diese Zahlen im Widerspruch zu den von

Krusch erhaltenen Ergebnissen, nach denen knapp 80% aller Zwerge in kompakten Gruppen dE-Galaxien sind.

2.2.4 Arbeit von Campos

[CAMPOS et al. 2004] untersuchten zwei kompakte Gruppen (HCG044 und HCG068) nach Zwerggalaxien. Dabei bauen ihre Untersuchungen auf denen von [MENDES DE OLIVEIRA und BOLTE 1999] auf. Wie auch die Untersuchungen von Mendes de Oliveira et al. für HCG068 verwendeten Campos et al. auch für diese Arbeit das 0.9 m KPNO. Aufnahmen wurden im R- und B-Band des Johnson Systems angefertigt.

Die Auswahlkriterien für Zwerggalaxien beruhten auf deren Flächenhelligkeit ($\mu_0 > 21R \text{ mag arcsec}^{-2}$), dem Skalenfaktor ($h > 2''$) und dem Durchmesser ($> 6''$). Damit entsprechen sie denselben Kriterien wie für [MENDES DE OLIVEIRA und BOLTE 1999]. Für HCG044 konnten, im Gegensatz zu HCG068, nur 18 Zwerggalaxien festgestellt werden. Diese, gegenüber von 37 Galaxien in HCG068, sehr geringe Anzahl, sowie die unterschiedliche Verteilung der Zwerggalaxienpopulation innerhalb der beiden Gruppen, lassen darauf schließen, dass man die Zwerggalaxienpopulation in kompakten Gruppen nicht verallgemeinern kann. Auch [DE CARVALHO et al. 1994] stellte bei seiner Untersuchung von 22 HCGs fest, dass es eine große Bandbreite punkto Dichte und Radien innerhalb von kompakten Gruppen zu geben scheint. So scheint es sowohl sehr dichte kompakte Strukturen zu geben, als auch relativ diffuse, welche mehr offenen Gruppen gleichen.

Aufgrund ihrer Ergebnisse schlussfolgerten [CAMPOS et al. 2004], dass sich HCG068 in einer dichteren Umgebung befinden musste als HCG044. Außerdem merken sie an, dass HCG068 durch Galaxien frühen Typs dominiert ist und wahrscheinlich eine Substruktur einer offenen Gruppe darstellt. Dies wiederum im Gegensatz zu HCG044, welche in der Tat relativ isoliert zu sein scheint und eben jene Art von kompakten System darstellt, als welches Hickson kompakte Galaxiengruppen klassifizierte.

Bei der Erstellung einer Leuchtkraftfunktion, erhielten sie schließlich noch einen ähnlichen Wert für HCG044, wie bereits [MENDES DE OLIVEIRA und BOLTE 1999] zuvor für HCG068. Die Steigung der Schechter-Funktion wurde mit $\alpha \approx -1.2$ ermittelt. Damit besitzen auch beide kompakte Gruppen eine ähnliche Leuchtkraftfunktion wie die Lokale Gruppe. Dies wiederum deutet darauf hin, dass es keine übermäßige Anzahl an Zwerggalaxien, wie in Galaxienhaufen, zu geben scheint. Allerdings ist diese Steigung nicht im Einklang mit den Vorhersagen des CDM-Modells.

Kapitel 3

Daten und Datenreduktion

3.1 Sloan Digital Sky Survey

Die Daten für diese Arbeit stammen - sofern nicht anders angegeben, aus dem *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS). Die SDSS ist die größte bis jetzt existierende Himmelsdurchmusterung und die gemachten Beobachtungsdaten können von jedem frei zugänglich über die Homepage¹ des Programms downgeloadet werden. Die beobachteten Daten werden in einzelnen *releases* veröffentlicht. Für diese Arbeit wurde die *datarelease 6* herangezogen. Alle *releases* zusammen sollen bei ihrer Fertigstellung den Himmel oberhalb einer galaktischen Breite von 30° vollkommen abdecken und dabei eine Tiefe von $g' \sim 23$ mag erreichen.

Die Durchmusterung erfolgt mit einem 2.5m f/5 Teleskop, welches am Apache Point in New Mexico auf 2788 m Seehöhe steht. Das Teleskop ist azimuthal montiert und verfügt über ein 3° großes Bild.

Das für die visuellen Aufnahmen verwendete photometrische-Array besteht aus dreißig 2048x2048 Tektronix CCDs, die in einem Array von sechs Spalten und fünf Reihen angeordnet sind. Jede der Reihen beobachtet den Himmel in einem anderen Filter. Die Pixelgröße der verwendeten CCD-Kamera liegt bei $24 \times 24 \mu\text{m}$ ($0.''396^2$ am Himmel). Die Integrationszeit pro Filter beträgt 54.1 Sekunden.

¹www.sdss.org

Tabelle 3.1: Die fünf Filter des SDSS-Programms mit ihren effektiven Wellenlängen. Die Detektionslimits für die unterschiedlichen Filter gelten für ein Seeing von $1''$ und einer Luftmasse von 1.4 [YORK et al. 2000].

Filter	Effektive Wellenlängen	Detektionslimit
u'	3550 Å	22.3 mag
g'	4770 Å	23.3 mag
r'	6230 Å	23.1 mag
i'	7620 Å	22.3 mag
z'	9130 Å	20.8 mag

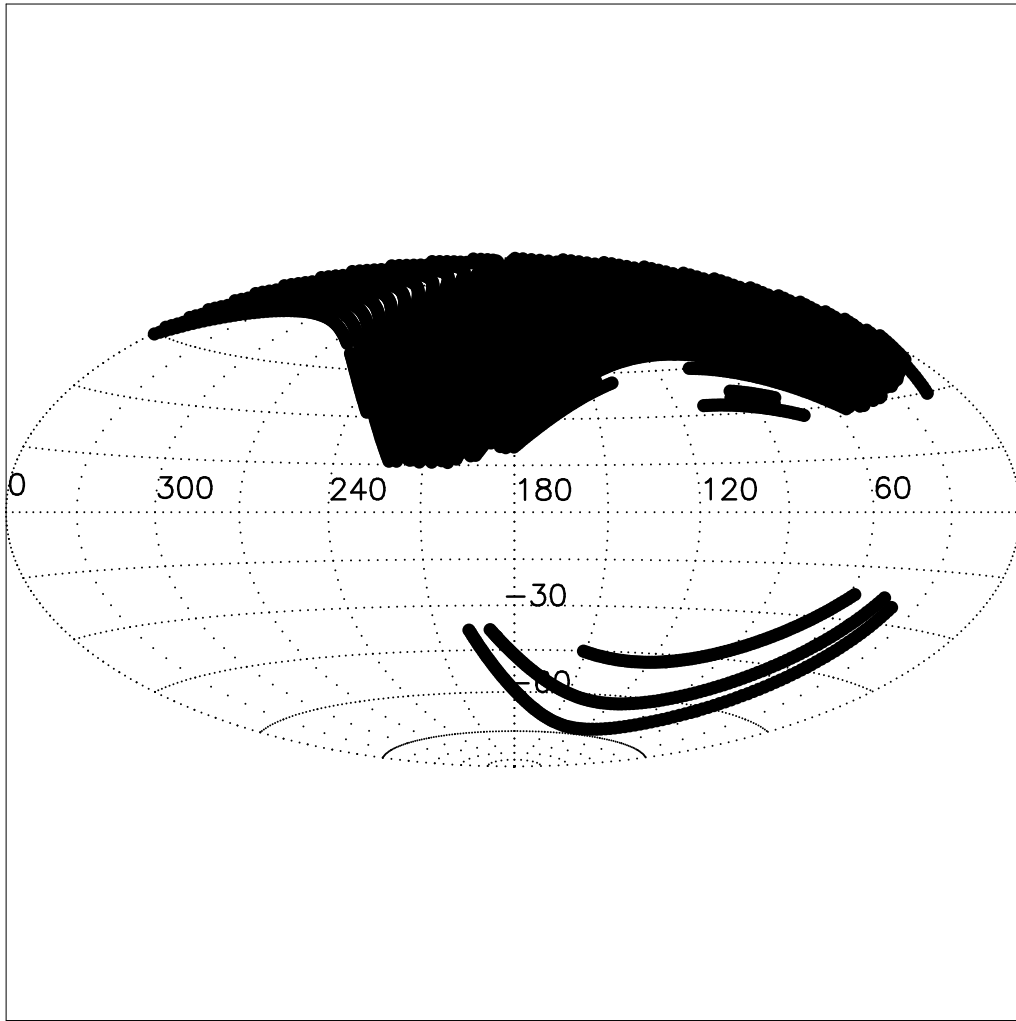


Abbildung 3.1: Die bereits durchgeführte optische Durchmusterung durch die SDSS zum Zeitpunkt der *datarelease 6* bei galaktischen Koordinaten.

Alle Aufnahmen werden in fünf verschiedenen Filtern - u' g' r' i' z' - gemacht, welche sich zum Teil stark von Johnson UBV System unterscheiden (siehe Tabelle 3.2). Der größte Unterschied liegt wohl in der großen Bandbreite der Filter, welche sogar noch größer ist als die des Johnson-Systems. Die Filter reichen von der atmosphärischen Grenze im ultravioletten bei 3000 \AA bis zur Empfindlichkeitsgrenze der CCDs bei 11000 \AA .

Um die photometrischen Daten der SDSS in das viel gebräuchlichere Johnson-Cousin-System umzuwandeln existieren mehrere Umrechnungsmethoden, welche zum größten Teil nur für bestimmte Objekte gelten. In dieser Arbeit wird die Umrechnung mittels Formeln von [SMITH et al. 2002] durchgeführt.

Tabelle 3.2: Filtereigenschaften des SDSS-Systems im Vergleich mit dem Johnson-Cousine-System. Deutlich stechen die breitbandigeren Filter der SDSS hervor.

	U	B	V	R_C	I_C
λ_{eff} [Å]	3635	4405	5470	6492	8020
FWHM [Å]	524	1008	826	1576	1543
	u'	g'	r'	i'	z'
λ_{eff} [Å]	3504	4747	6214	7628	9068
FWHM [Å]	634	1409	1388	1535	1409

$$\begin{aligned}
B &= g' + 0.47(g' - r') + 0.17 \\
V &= g' - 0.55(g' - r') - 0.03 \\
U - B &= 0.75(u' - g') - 0.83 \\
B - V &= 1.02(g' - r') + 0.20 \\
V - R &= 0.59(g' - r') + 0.11 \\
R - I(\text{für } r' - i' < 0.95) &= 1.00(r' - i') + 0.21 \\
R - I(\text{für } r' - i' \geq 0.95) &= 0.70(r' - i') + 0.49
\end{aligned} \tag{3.1}$$

Diese Gleichungen wurden eigentlich für Sterne auf der Hauptreihe entwickelt. Es hat sich aber gezeigt, dass diese Umrechnungen für kleine Galaxien ebenfalls zulässig sind. Leider gibt es noch keine veröffentlichten Umrechnungen zwischen den beiden Systemen, welche für größere Galaxien gelten.

Zusätzlich zur optischen Durchmusterung wird eine Spektroskopische vorgenommen. Hierzu stehen zwei Spektrographen zur Verfügung, von denen jeder über einen roten und einen blauen Kanal verfügt. Das einkommende Licht wird durch 640 Fasern geleitet (320 je Spektrograph). Es wird erwartet, dass damit etwa 10^6 Galaxien und bis zu 10^5 helle Quasare erfasst werden können [YORK et al. 2000]. Die im Juni 2007 veröffentlichte *Datarelease 6* beinhaltet insgesamt 9,583 Quadratgrad und 1,271,680 Spektren.

Zur Festlegung, welche Objekte spektroskopisch erfasst werden sollen, werden die im optischen detektierten Objekte nach ihrer Helligkeit und ihrer Ausdehnung klassifiziert. So werden alle Galaxien mit einer mittleren Oberflächenhelligkeit im r'-Band, die schwächer als 24 mag arcsec⁻² ist, ausgeschlossen, da sie zu dunkel sind, als dass man mittels Spektroskopie eine Rotverschiebung messen könnte. Zusätzlich zur Messung der Rotverschiebung wird eine Klassifikation zwischen Sternen und Galaxien vorgenommen und der Fluss / Wellenlänge ermittelt. Alle dazu notwendigen Daten werden in einer eigenen spektroskopischen Pipeline verarbeitet. Da die meisten Zwerggalaxien innerhalb der kompakten Gruppen jedoch unterhalb der minimalen Oberflächenhelligkeit liegen, sind nur von wenigen Rotverschiebungen gemessen.

Weiterführende Daten zur Datenverarbeitung, zu den Instrumenten und der Forschung mittels der SDSS-Daten finden sich auf der SDSS-Homepage. Eine gute Zusammenfassung der Parameter des Suchprogramms liefern unter anderem [YORK et al. 2000].

3.2 Source Extractor

Die SDSS verwendet zur Klassifizierung und Messung der einzelnen Objekte eine automatische Routine, welche leider vor allem bei diffusen Zielen, wie etwa Zwerggalaxien, sehr ungenau wird. Eine erste Untersuchung der Galaxien in der Nähe einer der kompakten Gruppen ergab, dass viele der angegebenen Galaxien in Wahrheit Vordergrundsterne waren, welche von der Routine als solche nicht erfasst wurden.

Um die Fehlerquelle durch solche falsche Klassifikation zu minimieren, wurden die einzelnen Bilder mittels des Programms *Source Extractor* neu ausgewertet und die daraus ermittelten Daten für die weiterführende Arbeit zu verwenden. Der *Source Extractor* - kurz SExtractor oder oft auch nur als SEx bezeichnet - ist ein Programm, welches für die automatische Detektion von photometrischen Quellen in Fits-Dateien verwendet wird. Einer seiner größten Vorteile besteht darin, dass er sowohl in der Lage ist neue CCD-Bilder als auch Scans von alten Photoplatten zu verarbeiten.

Seinen Wert beweist das Programm vor allem dann, wenn es darum geht, viele Objekte zu photometrieren. Durch seine Programmierung läuft die Detektion sehr schnell ab und das SExtractor hat auch kein Problem mit großen Dateien.

Zudem können praktisch alle Variablen, welche für die Detektion verwendet werden vom Benutzer selbst beeinflusst werden. Leider rechnet das Programm auch mit sinnlosen Eingaben ohne Fehlermeldungen zu liefern. Dies hat natürlich auch den Nachteil, dass falsche oder unsinnige Eingaben nur schwer erkannt und ausgebessert werden können. Zudem gibt es nur mangelnde offizielle Handbücher für das Programm. Jedoch finden sich mittlerweile einige sehr detaillierte Anleitungen, die dabei helfen das Programm zu verstehen und richtig zu bedienen, sowie seine Möglichkeiten voll auszuschöpfen. An dieser Stelle sollen die Arbeiten von [HOLWERDA 2005] und [BERTIN und ARNOUTS 1996] genannt werden. Erster gibt eine detaillierte Beschreibung zur Installation und Benutzung von SExtractor, sowie eine Auflistung aller veränderbaren Parameter und deren Auswirkung; zweiter gibt einen Überblick über die Entstehung und Leistungen des Programms.

SExtractor hat den Schwachpunkt, in Bereichen mit hoher Dichte nur eingeschränkt zu funktionieren, da er die Grenzen zwischen den einzelnen Objekten nicht mehr erkennen kann. Solche Bereiche können innerhalb der kompakten Gruppen vor allem in der Nähe der Hauptmitglieder auftreten und zu Problemen führen. Jedoch erwiesen sich helle Vordergrundsterne mit Überläufen in dieser Hinsicht als viel problematischer, da SExtractor diese oft als eigenständige Objekte klassifizierte und diese dann einzeln aus der Durchmusterung entfernt werden mussten. Dies erwies sich als keine besonders schwere Aufgabe, da SExtractor auf Wunsch die Umrisse der von ihm detektierten Quellen in eine separate Fits-Datei ausgibt.

Obwohl SExtractor normalerweise ohne Probleme arbeitet, hatte das Programm mit den Headern der Bilddateien aus der SDSS einige Probleme. Als unmöglich erwies es sich, die im Header verwendeten Koordinaten mit der Ausgabe des SExtractors zu verbinden. Letztendlich mussten die Koordinaten mittels Verschiebung pro Pixel, ausgehend von einem bekannten Nullpunkt umgerechnet werden.

Dabei zeigte es sich auch, dass die Koordinaten von Rektaszension und Deklination in den Headern der Bilder rund um die Gruppe HCG088 aus unerfindlichen Gründen vertauscht sind. Die Bilder selbst zeigten jedoch die richtige Gruppe und

nach Vertauschen der Koordinaten waren auch die Positionen aller gefundenen Objekte korrekt.

3.3 Ausgewählte Gruppen

In der *datarelease 6* der SDSS sind 30 der 100 Gruppen aus dem Katalog von Hickson vorhanden. Da die Auflösung des Teleskops der SDSS beschränkt ist, spielte bei der weiteren Auswahl vor allem die Entfernung der Gruppe eine ausschlaggebende Rolle. So wurden alle Gruppen ausgeschlossen, bei denen die kleinste bekannte Zwerggalaxie aus der Lokalen Gruppe (~ 570 pc Durchmesser), auf weniger als 2 Pixel abgebildet würde. Dadurch blieben nur mehr 9 Gruppen übrig, die in Tabelle 3.4 aufgelistet sind.

Eine dieser Gruppen - HCG037 - liegt leider genau am Rande des bis jetzt von SDSS erfassten Beobachtungsbereiches. Nur drei der vier Hauptmitglieder der Gruppe sind abgebildet. Da dadurch keine vollständige Durchmusterung von Zwerggalaxien in dieser Gruppe möglich war, wurde sie aus dem Sample ausgeschlossen.

HCG016 wurde ebenfalls ausgeschlossen, da im Nordwestlichen Teil des Bildfeldes ein großer überlaufender Vordergrundstern große Teile des Bildes überdeckt. Zudem wurden die einzelnen Bilder hier nicht überlappend aufgenommen, beziehungsweise, wurden sie nicht richtig zusammengesetzt. Da die automatische Abfrage der SLOAN in dieser Gruppe nicht einmal in der Lage war alle Hauptmitglieder der Gruppe zu identifizieren wurde auch diese Gruppe aus dem Sample ausgeschlossen.

Eine weitere Gruppe - HCG041 - wurde von Hickson aufgrund spektroskopischer Messungen als visuelle Projektion erkannt. Nach anfänglichen Überlegungen, diese Gruppe ebenfalls aus dem Sample herauszunehmen, wurde beschlossen sie als Vergleich gegenüber echten kompakten Gruppen dennoch zu untersuchen.

Da die SDSS eine automatische Durchmusterung ist, finden sich die Gruppen nur selten in der Mitte eines Bildes zentriert. Zudem sollte der Vorteil einer Durchmusterung mit seinem praktisch die gesamte Nordhemisphäre abdeckenden Beobachtungsfeld genutzt werden. Darum war es je nach Gruppe notwendig, zwischen zwei und sechs Platten auszuwerten.

3.4 Datenreduktion

Nachdem die oben genannten 9 Galaxiengruppen ausgewählt worden waren, wurden die Gruppen mit dem Navigationstool der SDSS bezüglich ihrer Lage auf den einzelnen Abbildungen untersucht. Je nach Ausdehnung und Lage der Gruppe wurden nun pro Gruppe zwischen 2 und 6 Bilder je Filter aus dem Internet heruntergeladen. Diese Bilder wurden dann mittels *Source Extractors* ausgewertet.

Wie bereits weiter oben erwähnt, ist man beim SExtractor in der Lage, alle verwendeten Parameter selbst einzugeben und zu verändern. Alle diese Parameter sind in der Datei *default.sex* gelistet und beschrieben und können dort einfach verändert werden. Die meisten der Parameter wurden auf ihrem ursprünglichen Wert gelassen, bei einigen war es jedoch notwendig sie an die Suche nach Zwerggalaxien anzupassen. Im Einzelnen waren die Parameter *BACK_SIZE*, *BACK_FITLERSIZE*,

Tabelle 3.3: Die im *datarelease 6* in der SDSS enthaltenen kompakten Gruppen nach Hickson. Die Spalten geben die Rektaszension, die Deklination, die Rotverschiebung, Anzahl der Galaxien nach [HICKSON et al. 1992], sowie Anmerkungen an. Die Gruppen 41 und 77 wurden von Hickson als Gruppen ausgeschlossen. Weitere Anmerkungen beziehen sich auf Arbeiten, die von Zwerggalaxien innerhalb dieser Gruppen handeln.

Nr.	RA	DEC	z	n	Anmerkungen
07	9.85	0.878	0.0141	4	[HUNSBERGER et al. 1996]
16	32.38	-10.159	0.0132	4	[KRUSCH et al. 2006], [HUNSBERGER et al. 1996]
25	50.18	-1.052	0.0212	4	[HUNSBERGER et al. 1996]
35	131.33	44.522	0.0542	6	
37	138.40	30.014	0.0223	5	[HUNSBERGER et al. 1996]
38	141.91	12.281	0.0292	3	[HUNSBERGER et al. 1996]
41	149.39	45.238			Keine Gruppe
43	152.81	-0.032	0.0330	5	[HUNSBERGER et al. 1996]
45	154.80	59.110	0.0732	3	
47	156.45	13.732	0.0317	4	[HUNSBERGER et al. 1996]
49	164.15	67.179	0.0332	4	[HUNSBERGER et al. 1996]
50	169.28	54.919	0.1392	5	
56	173.17	52.940	0.0270	5	[HUNSBERGER et al. 1996]
58	175.55	10.306	0.0207	5	
59	177.11	12.711	0.0135	4	[HUNSBERGER et al. 1996]
60	180.77	51.693	0.0625	4	
66	204.64	57.304	0.0699	4	
68	208.42	40.319	0.0080	5	[CAMPOS et al. 2004]
69	208.88	25.063	0.0294	4	
70	211.06	33.328	0.0636	4	
71	212.77	25.485	0.0301	3	
73	225.67	23.354	0.0449	3	
74	229.87	20.894	0.0399	5	
75	230.39	21.183	0.0416	6	
76	232.92	7.308	0.0340	7	
77	237.32	21.828			Keine Gruppe
79	239.80	20.759	0.0145	4	
82	247.09	32.824	0.0362	4	
88	313.10	-5.758	0.0201	4	
98	358.55	0.373	0.0266	3	[HUNSBERGER et al. 1996]

Tabelle 3.4: Die Entfernung der ausgewählten HCGs und die Größe der Zwerggalaxien darin. D gibt dabei die Distanz der Galaxie bei $h = 75 \text{ km/s an}$. x gibt den Radius einer Galaxie mit 570 pc Durchmesser auf diese Distanz in Bogensekunden an. R_G gibt den Radius einer Galaxie dieser Größe in dieser Distanz in Pixel an.

HCG	D [$h^{-1} \text{Mpc}$]	x ["]	R_G [pixel]
007	56.4	2.08	2.6
016	52.8	2.23	2.8
025	84.8	1.39	1.8
037	89.2	1.32	1.7
041	56.0	2.10	2.7
058	82.2	1.43	1.8
059	54.0	2.18	2.7
079	58.0	2.03	2.6
088	80.4	1.46	1.8

DETECT_MINAREA, DETECT_THRESH.

Um den Hintergrund eines jeden Bildes genau zu bestimmen, von dem sich die gesuchten Objekte schließlich abheben sollen, müssen die beiden Werte *BACK_SIZE* und *BACK_FILTERSIZE* gesetzt werden.

Der Parameter *BACK_SIZE* definiert den Hintergrund-*mask*. Die Wahl der Größe dieses Parameters ist sehr wichtig, da er, wenn er zu klein ist durch die Anwesenheit von Objekten und zufälligem Rauschen verschmutzt wird. Außerdem kann ein Teil des Flusses von ausgedehnten Objekten in die Hintergrundabbildung absorbiert werden. Wird der Parameter jedoch zu groß gesetzt, ist man nicht mehr in der Lage kleinskalige Variationen im Hintergrund zu erfassen. Als Standardgröße werden von SExtractor 64 Pixel vorgeschlagen. Eine Parameterstudie zeigte aber, dass ein Wert von 32 zu mehr gefundenen Galaxien führte (nach vollständiger Auswertung und Reduktion einer Platte). Der zweite Wert, welcher den Hintergrund beschreibt ist *BACK_FILTERSIZE*, der die Größe der Filtermaske für den Hintergrund definiert. In Anlehnung an [BERTIN und ARNOUTS 1996], wonach eine Größe von 3×3 ausreichend sei, wurde der Wert von *BACK_FILTERSIZE* auf 3 gesetzt.

Nachdem die Parameter für den Hintergrund gesetzt wurden, konnte man sich daran machen, die Detektionsparameter zu definieren. *DETECT_MINAREA* definiert sich durch die minimale Anzahl an zusammenhängenden Pixel, welche als Objekt angezeigt werden soll. [BERTIN und ARNOUTS 1996] empfiehlt hier einen Wert von 5 Pixel, wohingegen [KRUSCH et al. 2003] einen Wert von 10 annimmt. Es zeigte sich, dass für die Daten der SDSS ein Wert von 8 am idealsten ist.

Das Detektionslimit (*DETECT_THRASH*) für die Objekte wurde auf 1.1σ gesetzt. So wurde sichergestellt, dass sich die Objekte außerhalb des Rauschens des Hintergrundes befinden, jedoch keine Objekte an der Detektionsgrenze verloren gehen. Weitere benötigte Eingaben waren *GAIN*, *PIXEL_SCALE*, *SATURATION_LEVEL*, *SEEING* und *MAG_ZEROPOINT*.

Um an diese Daten zu kommen, war es erforderlich mittels der in SDSS eingebundenen SQL-Abfrage einen kurzen Code zu schreiben, welcher die für den SExtractor

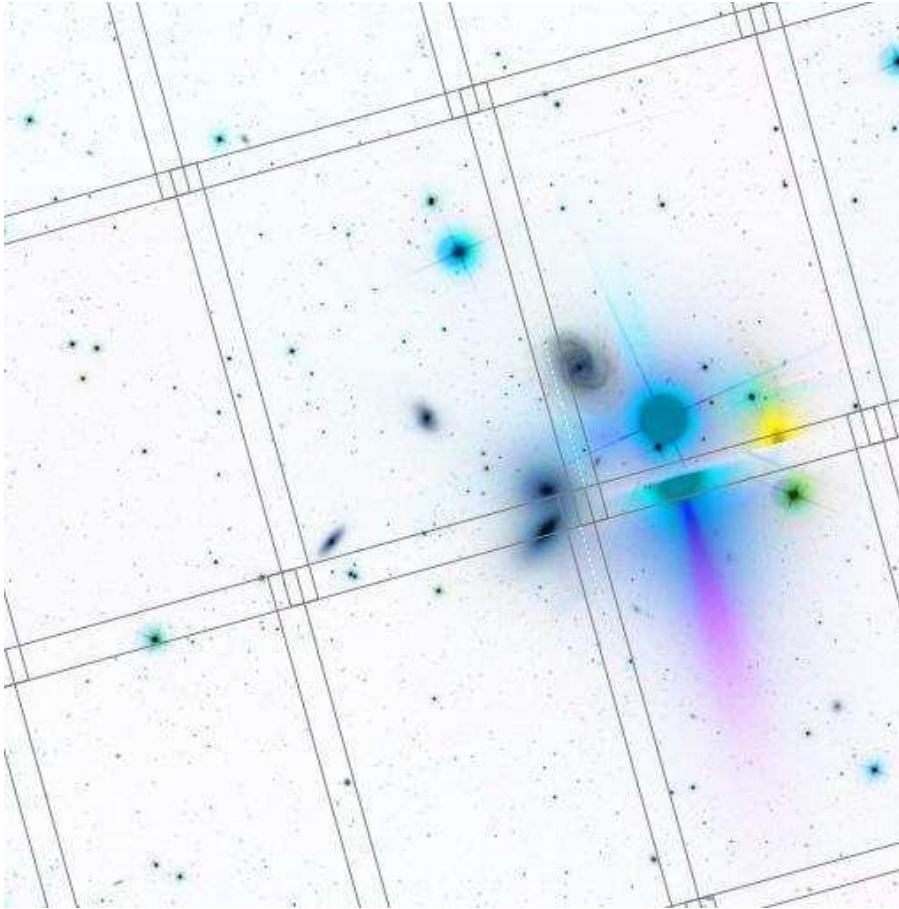


Abbildung 3.2: Die Invertierte Darstellung von HCG 68, wie sie im Navigationsfenster der SDSS zu sehen ist. Die im Bild zu sehenden Rechtecke sind die Umrisse einzelner Fits-Dateien, die sich an jeder Seite leicht überlagern. Deutlich ist der Vordergrundstern zu sehen, der zwei Platten kontaminiert.

tor notwendigen Angaben liefern sollte. SQL (*Structured Query Language*) ist eine standardisierte Datenbanksprache, welche fast alle großen, gängigen Datenbanken unterstützt. Der Syntax der Sprache ist relativ einfach und daher leicht zu erlernen. Zudem finden sich auf der Homepage von SDSS noch mehrere kurze Beispiele zum richtigen Umgang mit SQL. Eine *saubere* Programmierung der Anfrage ist nur dann notwendig, wenn große Datenmengen als Antwort erwartet werden, da SDSS einen automatischen Timeout nach 600 Sekunden eingebaut hat. Sollte man, trotz sauberer Programmierung, mehr Zeit für eine Anfrage benötigen, kann man seinen Code auch via E-mail senden. Dieser wird dann vor Ort eingelesen und die Antwort wird einem auf demselben Weg wieder zurück geschickt.

Bei der Arbeit mit SQL zeigte sich die Absonderlichkeit des SDSS jedes Bild mit mehreren unterschiedlichen Zahlenkolonnen zu benennen. Den Namen, den das Bild trägt, erhält man durch die *explore*-Funktion des Navigationstools von SDSS. Leider ist dieser nicht mit der von SQL gelieferten *plateID* ident, auch wenn es sich dabei um dieselben Platten handelt. Dies führte vor allem zu Beginn der Arbeit zu einiger Verwirrung.

Anzumerken ist hier noch, dass die ausgelesenen Zeropoints in SDSS einen negativen Wert besitzen. Um sie für den SExtractor nutzbar zu machen, mussten sie mit -1 multipliziert werden. Da die Bilder zudem nicht auf 1 Sekunde normiert waren, mussten der Zeropoint an die Belichtungszeit angepasst werden. Hierzu wurde zum ausgegebenen Zeropoint der Wert $2.5 \log 54.1$ addiert. Wobei der Wert 54.1 die Belichtungszeit in Sekunden angibt.

Im Gegensatz zu den Parametern für den Hintergrund und den Detektionsparametern, mussten diese Werte - mit Ausnahme der Pixelgröße, welche für alle Bilder bei $0.369 \text{ Pixel arcsec}^{-1}$ beträgt - für jedes auszuwertende Feld neu eingegeben werden.

Mit den so eingestellten Werten wurden nun nacheinander alle Bilder in allen fünf Filtern ausgewertet. Als Detektionsquelle wurde der g'-Filter genommen. Es hätte auch jeder andere Filter sein können, da nur Galaxien in das Sample aufgenommen wurden, welche letztendlich in allen fünf Filtern detektiert wurden. Relativ viele Galaxien wurden nur in einigen, aber nicht in allen fünf Filtern vom Programm entdeckt. Diese Bedingung wurde hinzugefügt, um falsche Detektionen möglichst zu verhindern. Im genauen war es notwendig, dass SExtractor einen Wert für den Ausgabeparameter *MAG_BEST* ermitteln konnte. Ein weiteres Kriterium war die Größe des gefundenen Objekts. Wie bereits weiter oben erwähnt, wurden alle Galaxien ausgeschlossen, deren Durchmesser weniger als 570 pc beträgt. Der Durchmesser, oder genauer, die große Halbachse der gefundenen Objekte kann mittels *A_IMAGE* abgefragt werden. Als letzten und wichtigsten Punkt mussten die gefundenen Objekte noch dem Klassifikationskriterium *CLASS_STAR* genügen. SExtractor erstellt aufgrund des Helligkeitsabfalls und der Ausdehnung der gefundenen Objekte eine Klassifikation in Form eines Zahlenwerts. Dieser Wert kann zwischen 0 (Galaxie) und 1 (Stern) liegen. Für das zu untersuchende Sample mussten alle Galaxien Werte $CLASS_STAR \leq 0.2$ aufweisen. Anders gesagt, besteht für jedes Objekt innerhalb des Samples eine 80% Chance, dass es sich dabei um eine Galaxie handelt. Im Gegensatz zu [KRUSCH et al. 2003] - welche $CLASS_STAR < 0.1$ wählten - ein höherer Wert angenommen, da es aufgrund der schlechteren Daten für SExtractor schwieriger war Stern und Galaxie zu trennen.

Dadurch stieg allerdings die Wahrscheinlichkeit das Sample mit Sternen zu kontaminieren. Diesem sollte allerdings entgegengewirkt werden, indem die gefundenen Galaxien mit den Daten aus dem SDSS korreliert wurden. Da die Koordinaten aus dem Header von SExtractor nicht übernommen wurden, mussten diese zuerst mit der Verschiebung von Rektaszension und Deklination pro Pixel - ausgehend von einem bekannten Nullpunkt - errechnet werden. Dann wurden mittels eines zweiten SQL-Codes die ermittelten Daten mit jenen der Objekte, die sich an dieser Stelle im SDSS befinden, verglichen. Hierbei zeigte sich, dass SDSS nicht in der Lage war alle Galaxien zu finden, welche von SExtractor detektiert wurden. Da es sich dabei jedoch immer nur um einige wenige Objekte handelte und es sich als sehr schwierig erwies, diese als echte Objekte zu verifizieren, wurden sie nicht in das Sample aufgenommen.

Mit dem zweiten SQL-Code wurden die Koordinaten - zum Vergleich mit den für den SExtractor errechneten - die Helligkeiten in den fünf Filtern - u'g'r'i'z' - sowie der Objekttyp laut SDSS ermittelt. Einige der vom SExtractor gefundenen Objekte

Tabelle 3.5: Die Anzahl der in das Sample aufgenommenen Galaxien pro Gruppe (4. Spalte). Zusätzlich sind die Anzahl der ausgewerteten Platten (2. Spalte) und die Gesamtanzahl der gefundenen Objekte in g' (3. Spalte) angegeben.

HCG	Platten	Objekte	Galaxien
007	4	17590	250
025	6	19320	415
037	6	21031	582
041	6	19341	131
058	6	22842	1079
059	4	16165	185
079	2	12002	104
088	6	1075	527

wurden nach SDSS als Stern deklariert. Diese Objekte wurden im Navigationsfenster der SDSS visuell begutachtet und im Zweifelsfall aus dem Sample entfernt. Die meisten der als Stern deklarierten Objekte waren - zum Teil offensichtlich - Galaxien und wurden im Sample belassen. Mit dem Navigationsfenster wurden auch alle auffallend hellen Objekte des Samples noch einmal betrachtet, trotzdem sie sowohl von SExtractor, als auch durch die SDSS als Galaxien identifiziert worden waren. Dies erwies sich als eine gute Idee, da es sich bei den meisten davon um sehr helle Vordergrundsterne oder um deren Überläufe handelte. Diese Objekte und Fragmente wurden ebenfalls aus dem Sample ausgeschlossen. Als letztes wurden noch alle Galaxien aus dem Sample entfernt, die sich, aufgrund der Überschneidung der Aufnahmen, zwei Mal in der Auswahl befanden. In diesem Fall wurde die jeweils bessere Detektion - mit geringeren Fehlern in allen fünf Filtern - zur weiteren Verwendung herangezogen. Obwohl sich die Aufnahmen nicht mehr überlappten als bei den anderen Gruppen, kam es bei HCG 58 hier zu besonders vielen doppelten Aufnahmen.

Die ursprüngliche Intention war es, mit den ausgelesenen Magnituden des SExtractor weiter zu arbeiten. Es zeigte sich allerdings, dass die angegebenen Fehler in allen fünf Filtern innerhalb der SDSS-Daten geringer waren, weshalb doch auf diese zurückgegriffen wurde und sie auch für den weiteren Verlauf der Arbeit verwendet wurden.

Die Anzahl der gefundenen Galaxien, sowie der pro Gruppe detektierten Objekte und ausgewerteten Platten sind in Tabelle 3.5 gelistet.

Kapitel 4

Analysen und Resultate

Die Bestimmung der Mitgliedschaft einer Galaxie zur Galaxiengruppe ist ein Problem, welches bereits im vorherigen Kapitel angesprochen wurde. Eine Methode, mit dem Hintergrundgalaxien ausgesondert werden können, wurde bereits beim Auswahlprozess vorgenommen. Alle Objekte, welche nach den Ergebnisse des SExtractor kleiner als 570 pc waren, wurden bereits ausgesondert. Dennoch bleiben immer noch viele Objekte über, welche sowohl im Vordergrund, als auch im Hintergrund liegen könnten.

Die gängigste Methode die Mitgliedschaft von so vielen Objekten zu überprüfen ist die Aufnahme von Spektren mit einem Multiobjektspektrographen. Dieses Methode ist jedoch sehr teleskopzeitintensiv und zudem nur für hellere Objekte möglich. Im Falle dieser Arbeit standen, mit wenigen Ausnahmen, keine Spektren der potenziellen Zwerggalaxienkandidaten zur Verfügung.

Weitere Möglichkeiten der Bestimmung der Mitgliedschaft müssen daher im photometrischen Bereich gesucht werden. Für diese Arbeit wurden die photometrische Rotverschiebung, die Positionen der Objekte im Farben-Helligkeits-Diagramm (FHD), sowie der Sérsic-Parameter zur weiteren Untersuchung herangezogen.

4.1 Entfernungsbestimmung mittels Photometrischer Rotverschiebung

Da es äußerst zeitaufwendig ist Spektren von Objekten zu erhalten und diese Methode auch auf hellere beschränkt ist, die Zahl der Galaxien, welche mittels verschiedener Filter detektiert wurden jedoch mittlerweile in die Milliarden geht, wurde in den letzten Jahren viel Energie darauf verwendet Techniken zur Entfernungsbestimmung mittels Photometrie zu verbessern und zu erfinden [OYAIZU et al. 2008].

Die Techniken zur Bestimmung der photometrischen Rotverschiebung kann man in zwei große Kategorien unterteilen: Beim so genannten Template-Fitting versucht man die Rotverschiebung einer Galaxie dadurch zu bestimmen, indem man eine rotverschobene spektrale Energieverteilung sucht - aus einer zusammengestellten Datenbank -, welche am besten die beobachteten Flüsse in den Breitbandfiltern reproduziert. Im Gegensatz dazu wird bei der empirischen Methode versucht eine Relation zwischen den beobachteten photometrischen Daten und der Rotverschiebung

herzustellen, indem man die gemessenen Farben mit denen einer Galaxie vergleicht, deren Rotverschiebung bekannt ist. Beispiele für empirische Methoden sind etwa Polynomiales-Fitting, die Methode des nächsten Nachbarn, die nächste Nachbar Polynomial-Technik, künstliche neurale Netzwerke und unterstützende Vektormaschinen. Weiterführende Literatur zu diesen Techniken listen [OYAIZU et al. 2008] und [CSABAI et al. 2003] in ihren Arbeiten auf.

In der SDSS stehen seit dem *data release 5* zwei verschiedenen Versionen zur photometrischen Rotverschiebung zur Verfügung. Zum einen steht eine Template-Fitting Methode zur Verfügung, welche den synthetischen Modellen von [COLEMAN et al. 1980] beruht. Zum anderen stehen photometrische Rotverschiebungen auf der Basis der neuronalen Netzwerkmethod zur Verfügung. Das Paper zur DR6 von [OYAIZU et al. 2008] beschreibt noch einmal alle Überlegungen der Berechnungsmethoden und die Ergebnisse des neuesten *data releases*. Die Berechnung der Gruppe rund um Oyaizu teilen sich wiederum in zwei Gruppen auf: Die in der SDSS als D1 gekennzeichnete Berechnung benutzt die Magnituden der Galaxien zur Bestimmung der Rotverschiebung und wird für helle Galaxien mit $r' < 20$ mag empfohlen. Die Methode CC2 zieht zur Berechnung nur die Farben der Galaxien heran, weist größere Fehler auf, ist jedoch für leuchtkraftschwächere Galaxien, mit $r' > 20$ mag besser geeignet. Es wird auf der Homepage von SDSS auch darauf hingewiesen, dass die Bestimmung der photometrischen Rotverschiebung von größeren Galaxiensamplen immer mit CC2 passieren sollte, weshalb für diese Arbeit auch diese Berechnungen verwendet wurden.

Trotz aller Forschung auf dem Gebiet der photometrischen Rotverschiebung bleibt diese Methode immer noch sehr ungenau und kann für diese Arbeit nicht dazu verwendet werden die Mitgliedschaft einer Galaxie zur Gruppe festzulegen, weil dafür die Fehler zu groß sind. Es ist jedoch möglich, Objekte, welche sich weit im Vorder- oder Hintergrund befinden, auszuschließen und so die Zahl der möglichen Kandidaten im Vorfeld noch weiter zu reduzieren.

Da einzelne Objekte sehr unterschiedliche Fehlerbalken für ihre Entfernung aufweisen wurden sowohl die Template-Fitting Methode, als auch die CC2 Berechnung der neuronalen Netzwerk Methode verwendet und jeweils jene Messungen mit dem kleineren Fehler verwendet.

4.2 Zwerggalaxien im FHD

Zur Untersuchung, ob die gefundenen Galaxien tatsächlich Mitglieder der jeweiligen Gruppen sind, wurde ihre Position im Farben-Helligkeitsdiagramm (FHD) untersucht. Man fand nämlich heraus, dass dE-Galaxien einen bestimmten Bereich darin dominieren.

[SECKER et al. 1997] erstellte ein FHD für das Zentrum des Coma-Haufens, indem er 3723 Objekte auftrug. Außerdem erstellte er ein Kontrollfeld von den östlichen Ausläufern des Haufens (2° vom Zentrum entfernt) mit 1164 Objekten (siehe Abbildung 4.1). Im linken Diagramm der Abbildung 4.1 ist der Bereich, in welchem die dE-Galaxien liegen sollten, dicht bevölkert und dominiert die Region von $0.7 \leq B - R \leq 1.9$ mag (Rotsequenz). Im Kontrollfeld ist diese Population im FHD nicht zu erkennen, dennoch liegen immer noch 694 Objekte in der Rotsequenz.

Die Rotsequenz in Abbildung 4.1 repräsentiert jenen Bereich, in dem sich mit hoher Wahrscheinlichkeit Galaxien frühen Typs befinden. Galaxien, welche sich im rötteren Bereich befinden, könnten damit als Hintergrundgalaxien vom Sample ausgeschlossen werden.

Die Sequenz geht bis zur einer maximalen Helligkeit von 15.5 mag (horizontale Linie im Diagramm) und hat eine durchschnittliche Helligkeit in $B - R$ von $\simeq 1.54$. [SECKER et al. 1997] merkt außerdem an, dass die dE-Galaxien bei niedrigen Helligkeiten eine Tendenz dazu haben, blauer zu sein.

Aus den aufgetragenen Objekten ermittelte [SECKER et al. 1997] eine Farben-Helligkeits Relation für die Rotsequenz und damit die darin liegenden dE-Galaxien:

$$(B - R) = (-0.056 \pm 0.002)R + (2.41 \pm 0.04) \quad (4.1)$$

[CONSELICE et al. 2002] fanden in einem von ihnen erstellten FHD des Perseus-Haufens ebenfalls eine solche Struktur und ermittelten daraus eine sehr ähnliche Beziehung zwischen Farbe und absoluter Helligkeit:

$$(B - R)_0 = (-0.055 \pm 0.009)R_0 + (0.456 \pm 0.16) \quad (4.2)$$

Um die Werte der beiden Arbeiten vergleichen zu können, konvertierten [CONSELICE et al. 2002] die von [SECKER et al. 1997] gefundene Relation (Gleichung 4.1) auf absolute Magnituden.

$$(B - R)_0 = -0.056R_0 + 0.452 \quad (4.3)$$

Das Ergebnis zeigt, dass die beiden Galaxienhaufen, innerhalb der Fehler, idente dE Galaxienpopulationen aufweisen. Zudem passen auch die photometrischen Werte von hellen elliptischen Galaxien in die Rotsequenz des FHDs.

[KRUSCH et al. 2003] waren der Meinung, dass es möglich sein sollte, dass man den Typus einer Zwerggalaxie in einer kompakten Gruppe auf die gleiche Art und Weise bestimmen könnte. Nach eigenen Angaben waren sie damit auch die ersten, welche - außerhalb der Durchmusterung eines Haufens - auf diese Methode zurückgriffen. Sie waren der Meinung, dass, sollte es sich bei den kompakten Gruppen um gebundene Systeme handeln, dE-Galaxien die rote Sequenz im FHD dominieren sollten.

Darum erstellten sie für die fünf von ihnen untersuchten kompakten Galaxien-gruppen aus dem Hickson Katalog (HCG016, HCG019, HCG030, HCG031 und HCG042) ebenfalls FHDs um die Galaxien, welche zur Gruppe gehören, zu identifizieren. Alle Galaxien, welche auf der von [SECKER et al. 1997] ermittelten Sequenz und in deren 1σ Abweichung liegen, sollten demnach dE Galaxien der jeweiligen Gruppe sein. In diesem Bereich fanden sich zwischen 100 und 150 Galaxien (147 in HCG016, 51 in HCG019, 90 in HCG030, 152 in HCG031 und 132 in HCG042). Alle Galaxien, welche blauer als die rote Sequenz sind, sind nach [KRUSCH et al. 2003] mit hoher Wahrscheinlichkeit dIrrs. Sie führen in ihrer Arbeit an, dass es sehr unwahrscheinlich ist, dass es sich hierbei um Hintergrundobjekte handelt, da ihre Farbe dafür zu blau ist. Selbst, wenn man davon ausgehen würde, dass sie eine starke Sternentstehung aufweisen würden. Außerdem schließen sie aus, dass es sich dabei um Vordergrundobjekte handelt, weil dann eine große Anzahl an Zwergen im

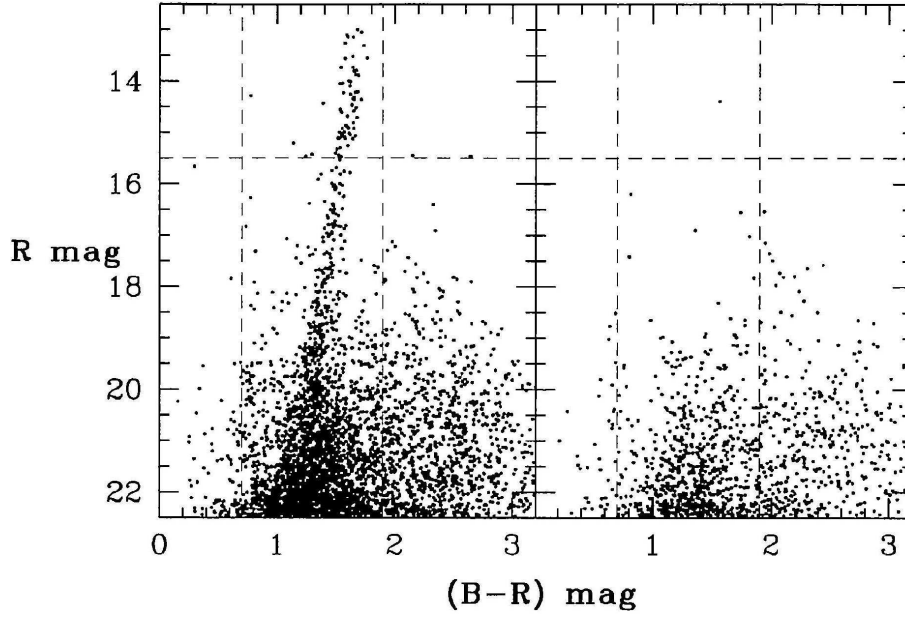


Abbildung 4.1: Links sieht man das FHD des Zentrums des Coma-Haufens, zusammengesetzt aus drei Programmfeldern. Es beinhaltet insgesamt 3723 Objekte. Die Rechte Seite zeigt ein Kontrollfeld, in dem sich 1164 Objekte befinden. Die gestrichelten Linien zeigen jenen restriktiven Farbbereich an, in dem sich die dE Galaxien befinden sollen. [SECKER et al. 1997]

Feld existieren müsste. Alle Galaxien, welche roter als die Sequenz sind, wurden als wahrscheinliche Hintergrundobjekte ausgeschlossen.

Bei Betrachtung der von [KRUSCH et al. 2003] erstellten FHDs (Abbildung 4.2) wird jedoch rasch ersichtlich, dass der von [SECKER et al. 1997] entdeckte Zusammenhang zwischen Farbe und Helligkeit für dE Galaxien keine absolute Gültigkeit besitzt. Nach Krusch finden sich bereits laut vorhandener Literatur viele Hintergrundobjekte innerhalb der Rotsequenz (grünen Dreiecke in Abbildung 4.2) so wie sich auch bereits eindeutig identifizierte Gruppenmitglieder außerhalb der Sequenz finden (rote Dreiecke). Dabei ist vor allem ein Ausreißer in Gruppe HCG042 zu beachten, der ein $B - R \simeq 2.2$ mag aufweist.

Trotz dieser Unsicherheiten wurde die Rotsequenz auch für die, in dieser Arbeit ausgewählten, Gruppen verwendet. Allerdings sollte die Position einer Galaxie innerhalb des FHDs nicht ausschlaggebend für ihre Gruppenzugehörigkeit sein. Zur Umrechnung der Farben aus dem u'g'r'i'z' System in das Johnson UBVRI System wurden die Formeln 3.1 verwendet. Um einen Vergleich mit den Ergebnissen von [KRUSCH et al. 2003] herstellen zu können, wurde für die Definition der Rotsequenz die Gleichung 4.1 von [SECKER et al. 1997] benutzt. Wie bei Krusch sollten nun alle Objekte die innerhalb der 1σ Abweichung dieser Sequenz liegen dE Galaxien sein.

Die FHDs für die einzelnen Gruppen finden sich in Anhang A und die numerischen Ergebnisse sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst. Es zeigt sich bei dieser Auswertung ganz eindeutig, dass im blauen Bereich des FHDs, dort, wo sich laut Krusch Irreguläre Galaxien befinden sollten, nur wenige Objekte zu finden sind. Dies würde

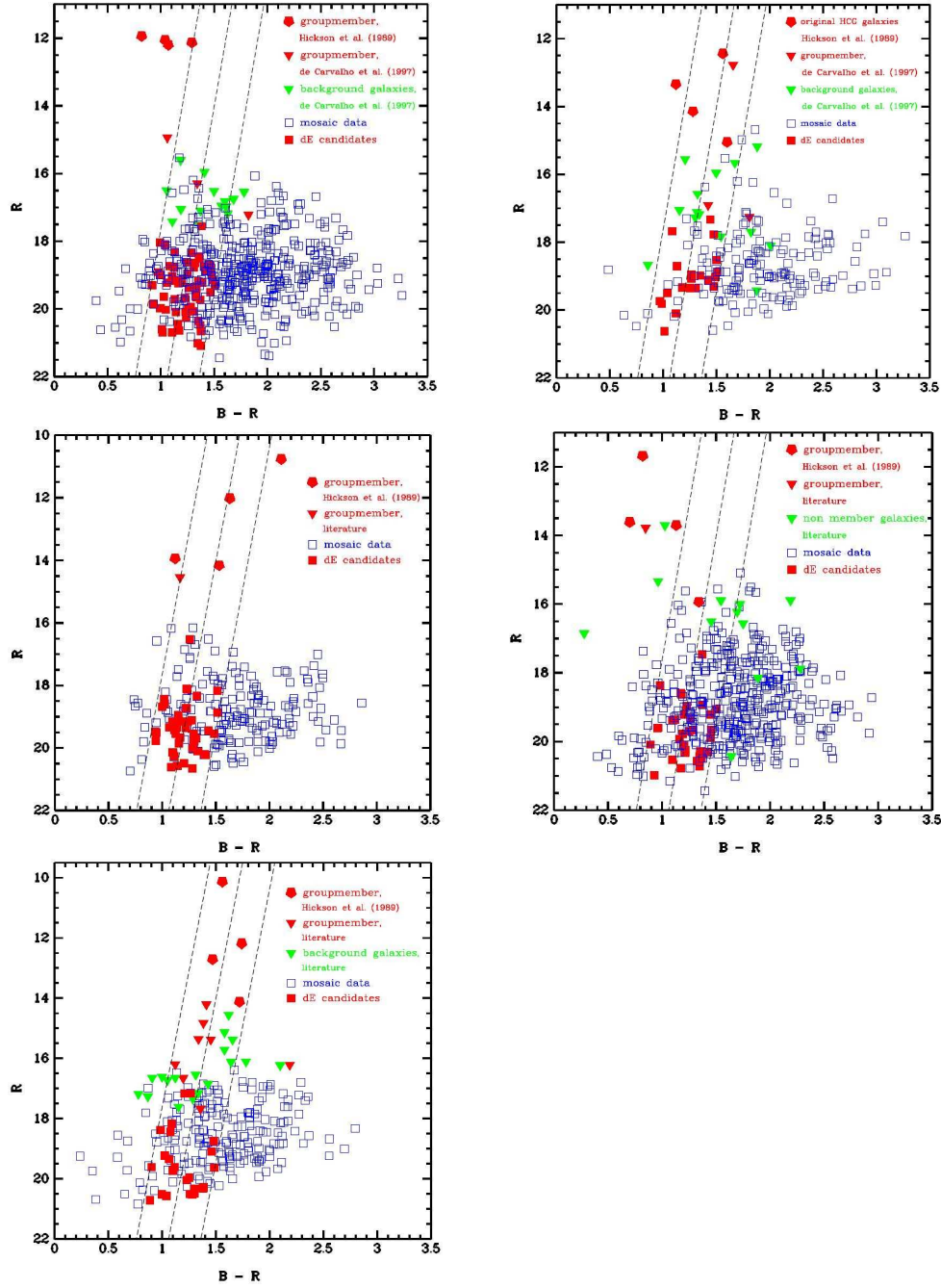


Abbildung 4.2: FHDs von HCG016, HCG019, HCG030, HCG031 und HCG042. Eingezeichnet sind sowohl die ursprünglich von Hickson gefundenen Mitglieder der einzelnen Gruppen, als auch die von Krusch et al. gefundenen Galaxien. Zudem wurden Objekte, zu denen bereits weiterführende Daten in der Literatur existieren extra gekennzeichnet: In bekannte Hintergrundobjekte und bereits identifizierte Gruppenmitglieder. Objekte, welche nach Krusch potenzielle dE Galaxien sind, wurden ebenfalls herausgehoben. Die gestrichelten Linien zeigen die Rotsequenz, sowie deren 1σ Abweichung [KRUSCH et al. 2003].

Tabelle 4.1: Die gefundenen Galaxien, die sich innerhalb der 1σ Abweichung der Rotsequenz befinden. Die zweite Spalte gibt die Anzahl der in der Gruppe identifizierten Galaxien an; die dritte Spalte die Anzahl jener Galaxien, die sich im Bereich der Rotsequenz befinden; die vierte Spalte gibt den prozentuellen Anteil der Galaxien wieder, die sich in einer 1σ Abweichung von der Rotsequenz befinden. Aufgrund der unterschiedlich großen Durchmusterungsflächen bei jeder Gruppe, sind die erhaltenen Zahlen jedoch schwer direkt vergleichbar.

Gruppe	Gefunden	Sequenz	%
007	250	79	31.6
025	415	105	25.3
037	582	135	23.2
041	131	31	23.7
058	1079	284	26.3
059	185	60	32.4
079	104	24	23.1
088	527	122	23.1

auf gebundene Systeme hindeuten. Jedoch ist diese Verteilung auch bei HCG041 zu sehen, einem System, welches bekanntermaßen ein reiner Projektionseffekt ist. Es ist anzumerken, dass in HCG041 von allen acht untersuchten Gruppen auch die zweitwenigsten Galaxien gefunden wurden. Da die Galaxien dieser projizierten Gruppe teilweise eine sehr hohe Rotverschiebung aufweisen, war dies aber auch zu erwarten.

Die Ergebnisse in Tabelle 4.1 zeigen, dass der prozentuelle Anteil jener Galaxien, die sich innerhalb jenes Bereiches der Rotsequenz befinden, nach der sie laut Krusch dEs sein sollten, in jeder Gruppe annähernd gleich ist. Der Mittelwert für alle Gruppen liegt bei 26.1%. Die Gruppen HCG007 und HCG059 weisen dabei die größten Abweichungen auf.

In Anhang A finden sich zudem noch FHDs, welche mit i' als Magnitude und $r'-i'$ als Farbe erstellt wurden. Hier zeigen sich keine besonders herausragenden Merkmale innerhalb der einzelnen Gruppen. Nach den gängigen wissenschaftlichen Erkenntnissen sollten in diesen Diagrammen die meisten dE Galaxien im Bereich von 0.20 und 0.40 in $r'-i'$ liegen.

Anzumerken ist noch, dass bei der Erstellung der FHDs einige offensichtlich falsch photometrisch detektierte Objekte entdeckt wurden. Manche Galaxien weisen Farben auf, welche schlichtweg nicht stimmen können. Diese Galaxien wurden nicht in die FHDs mit aufgenommen. Zudem zeigte es sich, dass SDSS Schwierigkeiten hat die Helligkeit von irregulären Objekten genau zu bestimmen, wie man am Beispiel der sehr dunkel detektierten Galaxie HCG059d erkennen kann (siehe Abbildung A.6).

4.3 Morphologiebestimmung mittels Sérsic Profil

Eine weitere Möglichkeit die Morphologie einer Galaxie und damit auch indirekt die Zugehörigkeit einer Galaxie zu einer Gruppe festzustellen, ist mittels des Sérsic

Gesetzes möglich.

In der Astronomie finden sich hauptsächlich zwei spezielle empirische Funktionen, die herangezogen werden um die Flächenphotometrie von Galaxien zu untersuchen. Diese sollen hier kurz erklärt werden, um einen besseren Überblick über diese Thematik zu geben.

Sowohl elliptische Galaxien als auch Bulges sind dafür bekannt nur sehr sanfte Abfälle im Helligkeitsprofil aufzuweisen. Dadurch können sie sehr gut mit der von 1948 von Gerard de Vaucouleur empirisch ermittelten Funktion beschrieben werden:

$$I(r) = I_e \exp(-7.67((r/r_e)^{1/4} - 1)) \quad (4.4)$$

Zu Ehren seines Erfinders und aufgrund seines Aussehens wird die Gleichung heute de Vaucouleur $r^{1/4}$ Gesetz genannt. Die Funktion besitzt zwei freie Parameter: Der effektiven Radius r_e definiert sich dadurch, dass sich innerhalb von ihm die Hälfte der Leuchtkraft der Galaxie befindet. Die effektive Oberflächenhelligkeit I_e wiederum beschreibt eben die Oberflächenhelligkeit beim effektiven Radius. Die Oberflächenhelligkeitsprofile von elliptischen Galaxien werden oft mittels des $r^{1/4}$ Gesetzes dargestellt, da das Profil im Diagramm dann in einer geraden Linie erscheint.

Das zweite bekannte Gesetz - das Exponentialgesetz - wird vor allem für die Scheiben von Spiralgalaxien verwendet. Wie der Name schon sagt, stellt die Funktion ein einfaches exponentielles Gesetz dar:

$$I(r) = I_0 \exp(-r/r_d) \quad (4.5)$$

In der Funktion stellen I_0 die zentrale Intensität und r_d den Radius dar, bei dem die Intensität auf $1/e$ des zentralen Wertes gefallen ist. Dieses Gesetz ist jedoch im Gegensatz zum de Vaucouleur Gesetz nicht bei allen Spiralgalaxien anwendbar. Es setzt voraus, dass die zu untersuchende Galaxie eine radiale Symmetrie aufzuweisen hat. Daher sollte die Spiralgalaxie keine Schwankungen im Profil durch ausgeprägte Spiralarme oder durch ausgedehnte HII-Regionen aufweisen.

Beide Gesetze können zusammen die Oberflächenhelligkeitsprofile von frühen und späten galaktischen Typen beschreiben. Ein Gesetz welches beide Typen in einer mehr generellen Art und Weise untersuchen kann, ist das, bereits weiter oben angesprochene, Sérsic Gesetz. Dieses wurde von J. Sérsic erstmals im Jahr 1968 entwickelt und fasst beide oben erwähnte Funktionen als Spezialfälle seiner Funktion zusammen:

$$I(r) = I_e \exp(-b_n((r/r_e)^{1/n} - 1)) \quad (4.6)$$

Zusätzlich zu den beiden freien Parametern des de Vaucouleur-Gesetzes kommen hier noch die Parameter n und b_n hinzu. Der Parameter n wird schlicht Sérsic-Parameter genannt und zeichnet sich für den Kurvenverlauf der Funktion verantwortlich. Der freie Parameter b_n wiederum ergibt sich durch die direkte Verbindung der Parameter n und r_e .

Es ist auch möglich, diese Funktion in Form des Exponentialgesetzes aufzustellen.

Für die Fälle in denen $n = 1$ und $n = 4$ verwandelt sich das Sérsic-Gesetz dann in die gängigen Funktionen des $r^{1/4}$ und des Exponentialgesetzes. Dadurch

ist es möglich mit einer Funktion den morphologischen Typ einer jeden Galaxie abzufragen. Jedoch nur wieder mit der Einschränkung, dass Spiralarms und HII Regionen das Ergebnis verändern können.

In diese Arbeit wurde, um die exakten Werte von n und b_n zu berechnen, die Relation von [EIGENTHALER und ZEILINGER 2005] verwendet:

$$b_n = 1.9908n - 0.3118 \quad (4.7)$$

Um diese Werte berechnen zu können wurden zuerst die Helligkeitsprofile der im FHD vorhandenen Galaxien mittels des Packages *ellipse* des Programms IRAF¹ erstellt. Diese Anwendung legt elliptische Isophoten an die zu untersuchende Galaxie an und erstellt dann eine Ausgabetabelle mit 40 oder mehr Spalten. Die dabei vorgenommenen Messungen am Bild basieren auf eine Methode von [JEDRZEJEWSKI et al. 1987]. Jede Isophote wird dabei bei einer fixen und vordefinierten Länge der großen Halbachse erzeugt, ausgehend von einem vom Benutzer angegebenen Punkt (in x- und y-Koordinaten des Bildes), der ungefähr das Zentrum der Ellipse angibt. Zusätzlich sind vom Benutzer noch die Elliptizität und der Positionswinkel einzutragen. Außerdem ist es noch möglich die Ausdehnung der Großen Halbachse der Galaxie zu bestimmen.

Aufgrund der verschiedenen möglichen Einstellungen erfordert es einer gewissen Eingewöhnung und vor allem viel probieren, bis man von dem gewünschten Objekt ein Helligkeitsprofil erhält. Es zeigte sich zudem, dass die Daten der SDSS von leuchtkraftschwache Galaxien für die Erstellung eines Helligkeitsprofils nicht ausreichend sind. Hier ist das Rauschen bereits zu groß, als dass *ellipse* noch in der Lage wäre seine Isophoten über die Galaxie zu legen, beziehungsweise die Galaxie selbst überhaupt zu finden.

Zur Erstellung der Leuchtkurven wurden die Filter g' und r' herangezogen. Zur letztendlichen Bestimmung des Sérsic-Parameters wurden die äußeren Bereiche der erhaltenen Lichtkurven abgeschnitten, weil dort das Signal der Galaxie bereits in das Hintergrundrauschen absinkt. Zudem wurde der innere Bereich ebenfalls nicht zur Berechnung herangezogen, da dort mögliche Kerne, vor allem jedoch das Seeing, eine genaue Kalkulation stören würden. Je nach untersuchter Platte betrug der im Inneren ausgeschlossene Bereich zwischen 1.2 und 2 RSMA.

Galaxien mit einem Sérsic-Parameter < 2 wurden in das Sample aufgenommen, alle anderen wurden als Hintergrundobjekte ausgeschlossen.

4.4 Resultate aus dem Auswahlprozess

Alle Galaxien, welche schließlich als wahrscheinliche Gruppenmitglieder identifiziert wurden, befinden sich laut der photometrischen Rotverschiebung im Bereich der jeweiligen Gruppe (innerhalb des Fehlers der einzelnen Galaxien). Außerdem liegt ihr Sérsic-Parameter - sofern er denn ermittelt werden konnte - bei maximal 2. Bei

¹*Image Data and Analysis Facility*: IRAF wird von der *National Optical Astronomy Observations* vertrieben, welche von der *Association of Universities for Research in Astronomy, Inc.* geleitet wird und unter Vertrag mit der *National Science Foundation*. ist.

jenen wenigen Galaxien, welche ein Spektrum aufweisen, wurde ebenfalls darauf geachtet, dass die Entfernung der Galaxie mit jener der Gruppe übereinstimmt.

Alle weiterführenden Angaben über die Rotverschiebung der Galaxien, die Typisierung der Gruppenmitglieder, die Geschwindigkeitsdispersion, sowie Hinweise auf Radio- und Infrarotemissionen entstammen der spektroskopischen Untersuchung durch [HICKSON 1993].

Bei den Gruppen HCG025 und HCG088 finden sich zudem noch Verweise auf die Arbeit von [DE CARVALHO et al. 1994], welche die Umgebung von 22 HCGs untersuchten - nur zwei der untersuchten Gruppen überschneiden sich mit dem Sample dieser Arbeit. Carvalho et al. untersuchten dabei den Bereich von $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ rund um das Zentrum der Gruppen bis hinab zu $m_B > 19.5$.

Farben-Helligkeitsdiagramme zu den Galaxien, welche nach Ende des Auswahlprozesses übrig geblieben sind, finden sich in Anhang A. Das linke untere Diagramm zeigt ein FHD mit den Filtern der SDSS. Im rechten unteren Diagramm wurden die Farben der Sloan mit der Formel 4.1 in jene des Johnson-Cousin-Systems konvertiert. Die gestrichelte Linie gibt die durch [SECKER et al. 1997] definierte Rotsequenz, sowie deren 1σ Abweichung wieder. In den Diagrammen wurden die von Hickson identifizierten Gruppenmitglieder als rote Fünfecke hervorgehoben. Galaxien, welche durch die SDSS spektroskopisch erfasst wurden, werden durch eine Dreiecke dargestellt. Verkehrte Dreiecke stellen Galaxien dar, für die ein passender Sérsic-Parameter bestimmt werden konnte. Alle anderen Galaxien, welche durch Quadrante dargestellt werden, befinden sich hauptsächlich aufgrund der spektroskopischen Rotverschiebung in dem Sample.

In den Abbildungen 4.3 und 4.4 sind die Darstellungen der einzelnen Gruppe des Samples zu sehen, wie sie im SDSS zu finden sind. Jedes Bild ist auf die gleiche Abbildungsgröße genormt und besitzt eine Kantenlänge von $\sim 13'$.

4.4.1 HCG007

Diese Gruppe besteht aus vier hellen Spiralgalaxien (Sb, SB0 und 2 SBc) und ist mit einer Rotverschiebung von $z = 0.0141$ relativ nah. Nach Hickson zeigen alle vier Galaxien ein gewisses Maß an Verformung und Asymmetrie, was auf eine gravitative Wechselwirkung hindeutet. Bei der hellsten Galaxie wurden sowohl Radio- als auch Infrarotemissionen festgestellt. Hickson merkt bei dieser Gruppe noch an, dass das angenommene Masse-Leuchtkraftverhältnis und die gemessene Geschwindigkeitsdispersion relativ gering sind. Diese geringe Masse wird von [YANG et al. 2007] - welche einen Massenbereich von $2.4 - 5.0 M_\odot$ erhalten (abhängig von der verwendeten Berechnungsmethode) - bestätigt. Danach rangiert diese Gruppe am unteren Ende der Massenfunktion von Gruppen, mit einer Masse ähnlich der Lokalen Gruppe.

Eine der vier Hauptgalaxien der Gruppe wurde in der SDSS falsch detektiert und weist daher ein ungewöhnlich hohes B-R von -3.5 auf. Daher ist diese Galaxie im FHD der Gruppe auch nicht zu sehen.

Nach kompletter Datenreduktion blieben 45 Galaxien übrig. Eine davon wies ein Spektrum durch die SDSS auf, über 22 konnte ein Sérsic-Profil gelegt werden, dessen Parameter den Wert 2 nicht überstieg. Die restlichen Objekte gehören nur laut der photometrischen Rotverschiebung zur Gruppe. Auffallend ist, dass die meisten Gala-

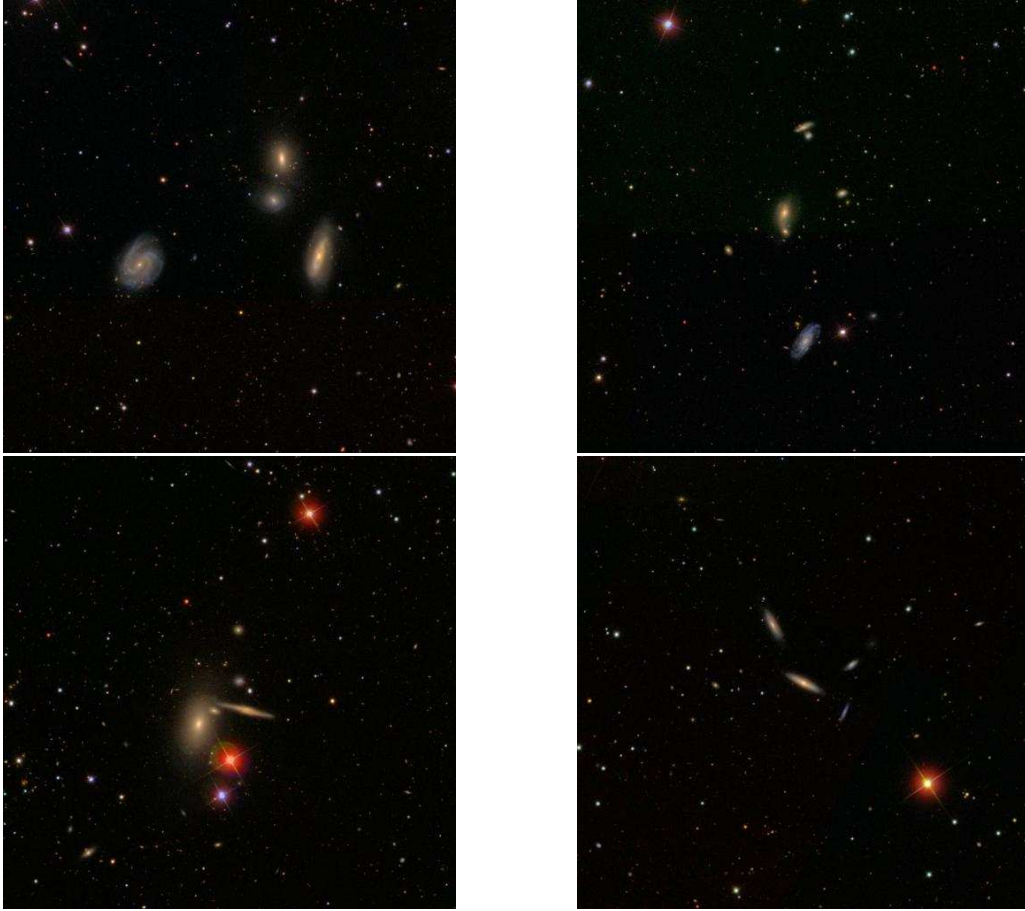


Abbildung 4.3: Die Darstellung der einzelnen Gruppen, wie sie innerhalb der SDSS in Echtfarben betrachtet werden können. Links oben: HCG007; rechts oben: HCG025; links unten: HCG037; rechts unten: HCG041. Alle Bilder sind auf die gleiche Abbildungsgröße normiert (Kantenlänge $\sim 13'$). Anhand dieser Abbildung ist auch bereits ersichtlich, wie unterschiedlich kompakt die einzelnen Gruppen sind.

xien, von denen ein Sérsic-Profil erstellt werden konnte, ein niedriges B-R aufweisen und zumeist außerhalb der definierten Rotsequenz liegen. Nur 16 der 45 Galaxien liegen in der Rotsequenz. 9 der gefundenen Galaxien liegen mit ihrem hohen B-R über der Rotsequenz, die anderen darunter.

4.4.2 HCG025

HCG025 besteht optisch betrachtet aus 7 Galaxien. Die spektroskopische Untersuchung von Hickson ergab, dass jedoch nur vier von ihnen eine Gruppe bilden. Bei diesen vier Galaxien handelt es sich um eine SBc, SBa und 2 S0 Galaxien. Die gemessene Geschwindigkeitsdispersion der Gruppe ist mit 61.7 km s^{-1} relativ gering. Die hellste der zur Gruppe gehörenden Galaxien weist Infrarotquellen und auch eine Radioquelle auf. Die zweithellste Galaxie scheint zudem in Interaktion mit der dunkelsten zu stehen.

[DE CARVALHO et al. 1994] fanden bei ihrer Untersuchung heraus, dass die

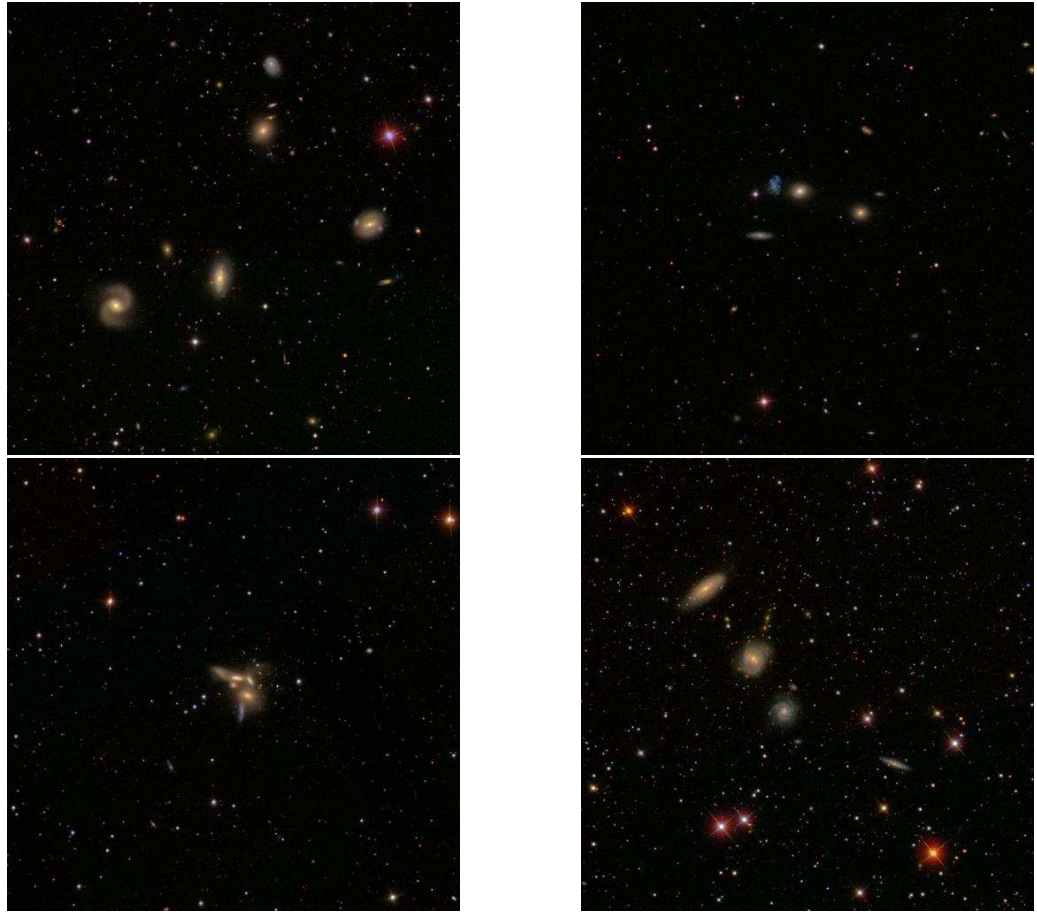


Abbildung 4.4: Die Darstellung der einzelnen Gruppen, wie sie innerhalb der SDSS in Echtfarben betrachtet werden können. Links oben: HCG058; rechts oben: HCG059; links unten: HCG079; rechts unten: HCG088. Alle Bilder sind auf die gleiche Abbildungsgröße normiert (Kantenlänge $\sim 13'$). Anhand dieser Abbildung ist auch bereits ersichtlich, wie unterschiedlich kompakt die einzelnen Gruppen sind.

Umgebung der Gruppe relativ leer in Bezug auf hellere Galaxien ist. Sie stellten auch fest, dass, obwohl sie leuchtkraftschwächere Galaxien als Hickson fanden, sie auf ähnliche Ergebnisse kommen. Während Hickson bei einem Durchmesser von $6.4'$ sieben Galaxien fand, gelang es ihnen mit $6.3'$ acht Galaxien zu detektieren. Weiters berechneten sie den Durchmesser der Gruppe mit ~ 112 kpc und eine Oberflächendichte, welche 12-mal höher ist, als jene des Hintergrundes. Das macht die Gruppe in ihren Augen zu einem guten Kandidaten für eine sehr kompakte Struktur.

Mit einer Rotverschiebung von $z = 0.0212$ ist sie neben HCG037, die am weitesten entfernte Gruppe in diesem Sample.

Es wurden 72 potenzielle neue Zwerggalaxien für diese Gruppe gefunden. Für 26 von ihnen konnte ein Sérsic-Profil erstellt werden und 3 besitzen ein Spektrum. Acht ursprünglich potenzielle Mitglieder konnten durch erstellen eines Sérsic-Profils als Zwerggalaxien ausgeschlossen werden, da ihre Sérsic-Parameter zwischen 5 und 10 lagen.

Von den identifizierten Galaxien befinden sich 41 in der definierten Rotsequenz.

Galaxien die ein geringeres, oder ein größeres B-R aufweisen, befinden sich, mit Ausnahme weniger Ausreißer, alle am Rand der Rotsequenz. Auffallend ist, dass von den acht, aufgrund des zu hohen Sérsic-Parameters, ausgeschlossenen Galaxien, sieben innerhalb der Rotsequenz liegen würden.

4.4.3 HCG037

Gruppe HCG037 besteht aus einem Quintett und weist zwei sehr dominante Galaxien auf. Die Gruppe weist 2 Spiral-, 2 elliptische und 1 S0-Galaxie an morphologischen Typen auf (im genauen: Sbc, SBdm, E7, E0, S0a). Drei der Galaxien weisen Radioquellen auf und die zweithellste Galaxie der Gruppe - eine Spirale - besitzt zudem eine Infrarotquelle. Die Geschwindigkeitsdispersion und das Massen-Leuchtkraftverhältnis der Gruppe ist sehr hoch. Mit 398 km s^{-1} besitzt sie die Größte Geschwindigkeitsdispersion aller Gruppen im Sample. Anzumerken ist noch, dass diese Gruppe mit $z = 0.0223$ von allen ausgewählten Gruppen die höchste Rotverschiebung besitzt.

In dieser Gruppe konnten 106 potenzielle Zwerggalaxienkandidaten detektiert werden, wovon mit 55 Objekten, knapp mehr als die Hälfte innerhalb der Rotsequenz liegt. Von diesen Galaxien weisen vier ein Spektrum auf und von 41 konnte ein Sérsic-Profil erstellt werden.

Auffallend ist, dass die Streuung der Galaxien im Bereich $R_{mag} > 20$ eklatant größer wird und sich auch Objekte mit sehr geringem und sehr hohem B-R in dem Sample befinden. Vor allem jene drei Galaxien, welche ein $B - R > 3$ aufweisen und über welche kein Sérsic-Profil gelegt werden konnte, sind mit großer Wahrscheinlichkeit Hintergrundobjekte.

Diese im Johnson-System erkennbare Streuung, ist auch in den Filtern der SDSS erkennbar, wobei hier die Streuung zu niedrigen $r'-i'$ Werten dominiert.

Bei dieser Gruppe zeigen sich deutlich die Grenzen der SDSS bei der Detektion von leuchtkraftschwachen, weiter entfernten Objekten. Es scheint, als würde HCG037 an der maximalen Entfernungsgrenze liegen, bei der, im Rahmen dieser Untersuchung, noch wissenschaftlich fundierte Aussagen getroffen werden können.

4.4.4 HCG041

Diese ursprünglich von Hickson identifizierte kompakte Galaxiengruppe ist in Wirklichkeit nur ein ungebundener Projektionseffekt. Laut Hicksons spektraler Untersuchung haben alle vier Galaxien der Gruppe eine unterschiedliche Rotverschiebung. Dadurch bildet diese „Gruppe“ eine Ausnahme gegenüber den anderen sieben Gruppen des Samples. Es wäre zu erwarten, dass hier weniger dE und mehr dIrr Galaxien zu finden sind.

Die vier Galaxien weisen Geschwindigkeiten zwischen $3750 - 9710 \text{ km s}^{-1}$ auf. Hickson klassifizierte in der Gruppe 2 Galaxien vom Typ Sac, eine Sb, sowie ein S0-Galaxie.

Auffallend war bereits zu Beginn, dass bei dieser Gruppe sehr wenige Galaxien detektiert wurden. Außerdem wurden viele Sterne von SExtractor als Galaxien fehlinterpretiert. Trotz Überprüfung der Eingaben wurde dieses Ergebnis jedoch nicht

besser. Da es sich bei dieser Gruppe nur um einen Projektionseffekt handelt, wurden natürlich keine Galaxien aufgrund der photometrischen oder spektroskopischen Rotverschiebung aus dem Sample ausgenommen. Es wurden daher nur Objekte ausgeschlossen, deren Sérsic-Profil > 2 ist.

Innerhalb des untersuchten Bereichs dieser projizierten Gruppe wurden 106 potenzielle Zwerggalaxienkandidaten gefunden. Von diesen besitzen drei ein Spektrum durch die SDSS, was bei dieser Gruppe jedoch nicht berücksichtigt wurde. Über 73 der möglichen Kandidaten konnte ein Sérsic-Profil gelegt werden. In keiner anderen Gruppe wie in dieser konnten im Verhältnis so viele Sérsic-Profile erstellt werden und in keiner anderen Gruppe wurden dabei so viele Galaxien mit zu hohem Sérsic-Parameter gefunden wie hier. 14 Galaxien, für welche ein Parameter gemessen werden konnte, besaßen einen Parameter, der < 2 war.

Von den 106 Kandidaten liegen nur 26 innerhalb der Rotsequenz. Der Rest der Galaxien befindet sich im FHD weit gefächert sowohl bei sehr niedren B-R Werten, als auch bei sehr hohen. Außerdem kommt es bei Magnituden $i' > 20$ zu einer Streuung hin zu größeren $r'-i'$.

4.4.5 HCG058

Diese Gruppe besteht aus einem lose zusammengefügt Quintett (4 Spiralen vom Typ Sb, SBab, SB0a und Sbc, sowie eine elliptische Galaxie vom Typ E1). Keine der Galaxien zeigt Anzeichen einer gravitativen Wechselwirkung. Die hellste Galaxie zeigt Infrarot- und Radioemissionen.

In dieser Gruppe wurden mit 218 möglichen Zwerggalaxien die meisten potenziellen Kandidaten gefunden. 112 von ihnen liegen innerhalb der Rotsequenz. Es konnten jedoch nur von 47 Galaxien ein Sérsic-Profil erstellt werden. Von drei weiteren liegt durch die SDSS ein Spektrum vor. Die große Anzahl an gefundenen Galaxien könnte auf die relativ dichte Umgebung zurückzuführen sein, in der sich die Gruppe befindet [TOVMASSIAN et al. 2002].

Trotz der großen Anzahl an gefundenen Galaxien liegen die meisten im FHD sehr kompakt beieinander und nahe an der Rotsequenz. Nur am schwachen Ende der Verteilung kommt es zu einer größeren Streuung und einigen wenigen Ausreißern, die sich jedoch in Grenzen halten. Außerdem ist es erstaunlich, dass nur sechs Galaxien gefunden wurden, deren Sérsic-Parameter darauf hinweist, dass es sich bei ihnen um Hintergrundobjekte handelt.

Jene Galaxien, für welche ein Sérsic-Profil ermittelt werden konnten, liegen zum größten Teil bei $R_{mag} < 20$. Das bedeutet, dass für diese Gruppe keine eindeutige Bestimmung der Galaxien im schwachen Bereich möglich ist.

Anzumerken ist noch, dass es bei einer Bildplatte Probleme bei der Erstellung von Sérsic-Profilen gab und trotz mehrmaliger Änderung der allgemeinen Parameter, für viele Galaxien kein Profil erstellt werden konnte. Dadurch fällt fast eine gesamte Platte aus, von der keine Sérsic-Profile vorliegen.

4.4.6 HCG059

Diese Gruppe, bestehend aus fünf Galaxien, wobei eine davon eine höhere Rotverschiebung als die anderen aufweist, ist die nächstgelegene Gruppe des Samples. Diese Gruppe wurde zudem bereits von [ROSE 1977] in ihrem Katalog als Nummer 7 aufgeführt. Die hellste Galaxie, eine Spirale, besitzt eine Radioquelle. Aufgrund ihrer irregulären Natur weist das lichtschwächste Gruppenmitglied in der SDSS eine viel niedrigere Helligkeit auf, als sie tatsächlich hat. Dies ist auch in den FHDs dieser Gruppe deutlich zu erkennen. Bei den drei anderen Galaxien handelt es sich um Galaxien vom Typ Sa, E0 und Sc.

Die mittlere Rotverschiebung der Gruppe beträgt $z = 0.0135$ und die Geschwindigkeitsdispersion ist mit 190.5 km s^{-1} relativ hoch, was die Möglichkeit einer transienten Konfiguration einräumt.

Trotzdem es sich um die nächste Gruppe des Samples handelt, wurden hier nur 44 potenzielle Gruppenmitglieder gefunden. Von diesen liegen 25 innerhalb der Rotsequenz. Jene die außerhalb der Sequenz liegen, haben, bis auf eine Galaxie, alle ein zu geringes B-R um in der Sequenz zu liegen.

Keine der gefundenen Galaxien besitzt ein, durch die SDSS aufgenommenes, Spektrum. Von 24 Galaxien konnte ein Sérsic-Profil erstellt werden.

4.4.7 HCG079

HCG079 ist die kompakteste Gruppe im Katalog von Hickson und damit auch in diesem Sample. Es handelt sich hierbei um das bekannte Seyfert Sextet (VV 115). Um seine Kompaktheit zu verdeutlichen schreibt Hickson, dass das gesamte System in die Milchstraße passen würde.

Obwohl die Gruppe den Namen Seyferts Sextet trägt, besteht sie doch nur aus fünf Galaxien, wovon vier eine kompakte Gruppe bilden. Ein Materiearm, entstanden durch die Wechselwirkung der Galaxien, wurde von Seyfert ursprünglich als sechste Galaxie fehlinterpretiert. Die eigentliche Gruppe besteht laut Hickson aus einer E0, 2 S0-Galaxien und einer Galaxie vom Typ Sdm. Die Gruppe besitzt zudem sehr viel Intergruppen Licht, welches 45% der Gesamtleuchtkraft der Gruppe ausmacht. Außerdem weist sie eine irreguläre HI-Umgebung, sowie Röntgenstrahlung auf. Dies deutet auf andauernde Interaktion innerhalb der Gruppe hin [MENDES DE OLIVEIRA und CARRASCO 2007].

Trotz der geringen Rotverschiebung der Gruppe von $z = 0.0145$ konnten bei ihr nur 18 potenzielle Zwerggalaxien identifiziert werden; so wenige, wie in keiner anderen Gruppe aus dem Sample. Von diesen 18 Galaxien liegen 13 innerhalb der Rotsequenz und von 8 von ihnen konnte ein Sérsic-Parameter berechnet werden. Keine der gefundenen Galaxien besitzt ein Spektrum.

Zwei der gefundenen Galaxien weisen gegenüber den anderen ein relativ großes B-R auf und sind möglicherweise Hintergrundobjekte. Sie könnten jedoch auch falsche Helligkeiten aufweisen, weil eines der Mitglieder der Gruppe ebenfalls ein sehr hohes B-R besitzt; ein Wert, der weit von jenem, den Hickson bei seiner spektroskopischen Untersuchung der Gruppen erhalten hat, abweicht.

Die geringe Anzahl der Zwerggalaxienkandidaten könnte auf die Kompaktheit der Gruppe zurückzuführen sein. Durch die starken Wechselwirkungen könnten vie-

le der nahe gelegenen Zwerggalaxien bereits in den Hauptmitgliedern aufgegangen sein. Eine weitere Begründung könnte die turbulente Umgebung sein, welche den unmittelbaren Bereich der Gruppe ausfüllt. Durch Materiearme und Gezeitenbrücken könnten nahe gelegene Zwerggalaxien in ihrer Leuchtkraft überstrahlt und dadurch durch die SDSS nicht detektiert werden.

4.4.8 HCG088

Die Gruppe HCG088 ist ein loses Quartett, bestehend aus Spiralgalaxien (laut Hickson Sb, SBb und 2 Sc). Mit Ausnahme der zweithellsten Galaxie, welche einen asymmetrischen Umriss hat, zeigt keine der vier Galaxien Anzeichen einer Wechselwirkung. Die Gruppe hat eine sehr geringe Geschwindigkeitsdispersion von 26.9 km s^{-1} , was auf ein gebundenes System hindeutet. Mit einer Rotverschiebung von $z = 0.0201$ gehört HCG088 zu den weiter entfernten Gruppen im Sample.

Nach [DE CARVALHO et al. 1994] gehört diese Gruppe, wie auch HCG025, zu jenen Gruppen, die sich in einem eher leeren Umfeld befinden. Sie merken jedoch an, dass die Präsenz von zwei hellen Sternen im Bereich der Gruppe eine genaue Bestimmung der Galaxien im Feld schwierig macht, weil der Gradient im Himmels-hintergrund, der durch diese beiden Sterne verursacht wird, die Detektion und Klassifizierung von Objekten in ihrer Umgebung erschwert. Dennoch konnten sie feststellen, dass der Dichtekontrast der Gruppe gegenüber dem Hintergrund relativ gering ist und die Gruppe zudem einen signifikant größeren Radius als andere Gruppen aufweist. Deswegen teilen sie HCG088 zu den offeneren HCGs ihres Samples ein.

Im Gegensatz zu HCG079, gelang es [MENDES DE OLIVEIRA und CARRASCO 2007] in dieser Gruppe nicht, diffuses Licht im optischen Bereich zu detektieren. Aufgrund dieser Ergebnisse und der Tatsache, dass auch die Galaxien selbst keine Anzeichen von Wechselwirkung zeigen, die Gruppe dabei jedoch eine sehr geringe Geschwindigkeitsdispersion aufweist, könnte es sich bei HCG088 um eine kompakte Gruppe im frühen Stadium der Interaktion handeln.

In HCG088 konnten 85 potenzielle Zwerggalaxien detektiert werden. Eine davon besitzt ein Spektrum und für 15 weitere konnte ein Sérsic-Profil erstellt werden. Die geringe Anzahl an Galaxien, für welche der Sérsic-Parameter bestimmt werden konnte, könnte in der relativ großen Entfernung der Gruppe und der daraus resultierenden schwachen Leuchtkraft der Zwerggalaxien darin resultieren. Diese Theorie steht jedoch im Widerspruch zur Gruppe HCG037, welche weiter entfernt ist, in der jedoch prozentuell gesehen mehr Sérsic-Profile erstellt werden konnten. Von den gefundenen Galaxien liegen 41 innerhalb der Rotsequenz.

Trotz der geringen Anzahl an Galaxien mit Sérsic-Profilen in dieser Gruppe, liegen doch sehr viele der gefundenen Kandidaten innerhalb der Rotsequenz oder knapp an deren Rand. Nur im Bereich $B - R > 22$ bzw. $i' > 21$ befinden sich mehrere Ausreißer, deren Zugehörigkeit zur Gruppe man in Frage stellen sollte.

4.5 Morphologie der Zwerggalaxien

Nachdem alle Daten reduziert und möglichst alle Vordergrund- und Hintergrundgalaxien ausgesondert worden waren, blieben letztendlich nur mehr jene Objekte übrig,

Tabelle 4.2: Die Auflistung aller neu gefundenen Galaxien, die schließlich in das Sample aufgenommen wurden. (2) gibt die Zahl aller gefundenen Galaxien wieder. Die Morphologische Bestimmung der Galaxientypen wurde mittels der Rotsequenz durchgeführt. Dementsprechend sind alle Galaxien innerhalb der Rotsequenz dE-Galaxien (4) und Galaxien mit niedrigem B-R dIrr-Galaxien (3). Galaxien, deren B-R so groß ist, dass sie außerhalb der Rotsequenz liegen, sollten eigentlich Hintergrundobjekte sein (5). (6) gibt die prozentuelle Anzahl der dE-Galaxien wieder, wobei die möglichen Hintergrundgalaxien aus (5) nicht in die Berechnung miteinbezogen wurden.

Gruppe	Galaxien	dIrr	dE	Andere	dE%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
007	45	20	16	9	42.1 %
025	72	22	41	9	66.6 %
037	106	25	55	26	68.7 %
041	106				
058	218	68	112	38	62.2 %
059	44	18	25	1	58.1 %
079	18	3	13	2	81.2 %
088	85	25	41	19	61.1 %

die auch zu den kompakten Gruppen gehören sollten. Für diese Galaxien wurde nun versucht eine morphologische Bestimmung durchzuführen.

Eine visuelle Einordnung der Galaxien war nur schwer möglich, weil die meisten Objekte derart lichtschwach waren, dass sie innerhalb der SDSS nur schwer zu erkennen waren. Eine morphologische Zuordnung anhand von charakteristischen Eigenschaften wäre daher nur für einen geringen Prozentsatz der gefundenen Galaxien möglich gewesen. Deswegen wurde die morphologische Bestimmung alleine anhand der Rotsequenz, definiert durch [SECKER et al. 1997], durchgeführt.

Diese Bestimmung ist keineswegs absolut zuverlässig, wie bereits [KRUSCH et al. 2003] feststellten. Sie sollte jedoch genügen, um eine ungefähre prozentuelle Verteilung der Zwergirregulären und der zwergelliptischen Galaxien erhalten zu können. Eine deutliche Mehrheit an dE-Galaxien sollte ein Indikator für eine physisch gebundene Gruppe sein, während ein Überschuss an dIrr-Galaxien auf eine transiente Konfiguration hinweisen könnte.

Die Ergebnisse der Durchmusterung der acht Galaxiengruppen sind in Tabelle 4.2 gelistet, wobei für HCG041 nur die Gesamtzahl, der in Frage kommenden Galaxien angegeben wurden, die ebenfalls alle Bedingungen erfüllen würden, um Mitglied in einer kompakten Gruppe zu sein. Auffällig ist hier bereits, der große zahlenmäßige Unterschied der neu gefundenen Gruppenmitglieder, wobei dieser Wert jedoch nicht von der Entfernung der jeweiligen Gruppe abhängt.

In der Tabelle wird unter (5) zudem noch die Zahl jener Galaxien aufgeführt, welche zwar allen Suchkriterien entsprochen haben, deren Lage im FHD nach dem Schema der Rotsequenz jedoch darauf hindeuten würde, dass es sich bei ihnen um Hintergrundobjekte handelt. Für die Berechnung des prozentuellen Anteils an dE-Galaxien (Spalte (6) in der Tabelle) wurden diese Objekte nicht herangezogen.

Tabelle 4.3: Die Ergebnisse nach der morphologischen Bestimmung mittels Sérsic-Profil. (2) gibt alle potenziellen Zwerggalaxien der Gruppe mit $B < 21$ an. (3) sind alle Zwerggalaxien der Gruppe mit $B < 21$, über welche ein Sérsic-Profil gelegt werden konnte. (4) gibt den prozentuellen Anteil der ausgewählten Galaxien mit Sérsic-Profil an.

Gruppe	Galaxien	Sersic	%
(1)	(2)	(3)	(4)
007	38	21	55 %
025	51	26	51 %
037	42	20	48 %
041	51	49	96 %
058	131	47	36 %
059	34	22	65 %
079	8	6	75 %
088	41	11	27 %

Die zwergelliptischen Galaxien sind mit Ausnahme von HCG007 überall in der Mehrzahl, wenn das Ergebnis (wie etwa bei HCG059 mit 58%) nicht immer sehr eindeutig ausfällt. Warum bei HCG007 mehr Zwergirreguläre als zwergelliptische Galaxien gefunden wurden, konnte an dieser Stelle nicht herausgefunden werden. Im Vergleich mit den Gruppen von [KRUSCH et al. 2003] fällt auf, dass in diesem Sample der prozentuelle Anteil der zwergelliptischen Galaxien, mit Ausnahme bei HCG079, um etwa 20 Prozentpunkte geringer ist. Krusch et al. erhielten für ihre Gruppen folgende Anteile an dE-Galaxien: 87% in HCG016, 83% in HCG019, 88% in HCG030, 75% in HCG031 und 86% in HCG042.

Dieser Unterschied ist durchaus erstaunlich. Erklärt werden könnte er durch einen hohen Grad an Fehlklassifikationen durch das SDSS und den SExtractor bei der Bestimmung der Galaxienidentifikation in diesem Sample. Es erscheint aber unwahrscheinlich, dass zwei Programme unabhängig voneinander etwa einen Stern, der sich in diesem Bereich des FHDs befindet, als Galaxie identifizieren. Zumal auch über viele der Galaxien in diesem Bereich des FHD ein Sérsic-Profil gelegt werden konnte, so dass eine starke Kontaminierung durch andere Objekte praktisch ausgeschlossen werden kann.

Setzt man die Galaxien mit hohem B-R, außerhalb der Rotsequenz, mit zusätzlich dE-Galaxien gleich, steigt natürlich deren prozentueller Anteil und auch in HCG007 würden zwergelliptische mit 55.5% knapp dominieren. Da jedoch [KRUSCH et al. 2003] Galaxien in diesem Bereich keine Beachtung geschenkt haben, würde eine Ergänzung zwar innerhalb dieses Samples den prozentuellen Anteil steigern, nicht jedoch den Unterschied zwischen diesen beiden Durchmusterungen erklären.

Betrachtet man die Morphologie der Galaxien anhand der Sérsic-Profile erhält man ein sehr ähnliches Ergebnis: im Mittel sind nach dieser Methode 51% der gefundenen Galaxien zwergelliptisch. Zur Auswertung wurden dabei nur Galaxien verwendet, die $B < 21$ mag besitzen, da unter diesem Wert fast keine Sérsic-Parameter mehr für die Galaxien ermittelt werden konnten. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Tabelle 4.3 zusammengefasst.

Alle Galaxien, für die ein Sérsic-Parameter < 2 ermittelt werden konnte, sollten über ein exponentielles Helligkeitsprofil verfügen und daher zwergelliptische Galaxien sein. Die prozentuellen Angaben der einzelnen Gruppen haben sich dabei, gegenüber der morphologischen Bestimmung durch das FHD nur geringfügig verändert. Auffallend ist, dass im Feld von HCG041 96% aller, den Suchparametern entsprechenden Galaxien, elliptische Galaxien sein sollen. Aufgrund des Ergebnis in dieser projizierten Gruppe ist es fraglich, wie genau die Bestimmung der Sérsic-Parameter in den anderen Gruppen war. Denn da auch für viele Galaxien $B < 21$ kein Sérsic-Parameter bestimmt werden konnte, sollte die Anzahl der potenziellen elliptischen Galaxien innerhalb der Gruppen noch weiter steigen.

4.6 Räumliche Verteilung

Die erste Untersuchung, welche mit den ausgewählten potenziellen Zwerggalaxien der Gruppe gemacht wurde, bezog sich auf die räumliche Verteilung der Galaxien. Durch eine einfache Betrachtung der Verteilung innerhalb eines Rektaszension-Deklination-Diagramms könnte ersichtlich werden, ob mit dem untersuchten Bereich die komplette Ausdehnung der untersuchten kompakten Gruppen abgedeckt wurde, oder ob sich diese Gruppen weiter über den beobachteten Bereich hinaus ausdehnen.

Zudem sollte untersucht werden, wo innerhalb der Gruppen sich die potenziellen dEs und dIrrs befinden. Denn, wie bereits in Kapitel 2 angemerkt, erwartet man, wenn HCGs wirklich physisch gebundene Objekte sind, dass sich im Zentrum der Gruppen, wo eine hohe Dichte herrscht, die Mehrzahl der dEs zu finden, während sich die dIrrs in den äußeren Bereichen der Gruppe befinden sollten. Allgemein wird erwartet, eine sehr viel geringere Anzahl an dIrrs als dEs zu finden, weil auch in den dichten Kernen der Galaxienhaufen ein Defizit an diesem Galaxientyp besteht.

In Anhang B befinden sich die Diagramme, welche die Verteilung der Galaxien innerhalb der einzelnen Gruppen darstellen. Auf den ersten Blick wird ersichtlich, dass die Hauptmitglieder der zu untersuchenden Gruppen nicht immer genau im Zentrum des ausgewerteten Bereichs stehen. Dies liegt, wie bereits weiter oben erwähnt, daran, dass die Einzelaufnahmen innerhalb der SDSS selten so liegen, dass sich die Gruppen in der Mitte einer Aufnahme befinden. Außerdem sei auf noch einmal hier darauf hingewiesen, dass sowohl der absolute, als auch der relative Bereich um die einzelnen HCGs, der untersucht wurde, je nach Gruppe schwankt.

Anhand der Verteilung, der ursprünglich gefundenen Galaxien innerhalb der untersuchten Bereiche sieht man, dass in fast allen Gebieten eine gleichförmige Verteilung an Objekten vorliegt. Einzig HCG025 weist ein größere Loch auf, welches allerdings natürlichen Ursprungs ist: Ein heller Vordergrundstern überstrahlt hier leuchtkraftschwache Objekte.

Betrachtet man die Verteilung der schließlich in das Sample aufgenommenen Galaxien und dabei im genauen die Verteilung über welche Objekte ein Sérsic-Profil gelegt werden konnte, beziehungsweise über welche nicht, so kann man dabei keinen direkten Zusammenhang mit der Lage der Zwerggalaxien zur kompakten Gruppe herstellen. Die Fähigkeit des Unterprogramms *ellipse* aus IRAF scheint also in keinem Zusammenhang mit der Nähe der zu untersuchenden Galaxie zu einem größeren Objekt zu haben.

Untersucht man weiters die Lage der dEs und dIrrs innerhalb der Gruppen, so fällt auf, dass sich die dEs durchaus im Zentrum der Gruppe zu konzentrieren scheinen, auch wenn sich weiter am Rand ebenfalls dEs finden lassen. Zwergirreguläre Galaxien scheinen sich eher außerhalb der Gruppenzentren zu befinden - was erwartet wurde. Auch sie findet man aber bis an die Randbereiche des zu untersuchenden Bereichs hin.

Anzumerken ist dabei allerdings, dass zur morphologischen Einteilung der Galaxien alleine die Rotsequenz nach [SECKER et al. 1997] verwendet wurde. Es ist möglich, dass die in den Diagrammen als Hintergrundobjekte gekennzeichneten Objekte durchaus zur Gruppe gehören. Dann würden sie die Population von dEs weiter vergrößern. Jedoch weisen die möglichen weiteren dEs keine merkliche Konzentration zum Zentrum der Gruppe hin auf.

Nach dieser ersten oberflächlichen Betrachtung liegt es durchaus im Bereich des Möglichen, dass kompakte Gruppen ausgedehnter sind, als sie hier untersucht wurden. Zu einem gleichen Ergebnis kommen [KRUSCH et al. 2003], welche einen Radius von 200-300 kpc rund um ihre Gruppen nach Zwerggalaxien absuchten. Die Felder der hier untersuchten Gruppen sind ausgedehnter - bis hin zu einem Radius von 500 kpc. Das bedeutet, dass kompakte Galaxiengruppen einen Durchmesser von mehr als 1 Mpc besitzen könnten. Krusch et al. spekulieren sogar mit Größenordnungen von 2 bis 5 Mpc, wodurch kompakte Galaxiengruppen die Größenordnung von Galaxienhaufen besitzen würden.

4.7 Anzahldichte

Die Erstellung und Analyse einer Anzahldichte der Galaxien der einzelnen Gruppen, ist eine effektivere Möglichkeit, etwas über Verteilung der Galaxien in Bezug auf das Zentrum der Gruppen auszusagen. Indem man die Lage der unterschiedlichen Galaxientypen, sowie die Abnahme der Gesamtanzahl zur Gruppe gehörender Galaxien vom Zentrum aus untersucht, sollten Aussagen zur Ausdehnung der Gruppen und zu ihrer physischen Beschaffenheit möglich sein.

[KRUSCH et al. 2003] verweisen in ihrer Arbeit diesbezüglich auf [ZABLUDOFF und MULCHAEY 1998] welche bei ihrer Untersuchung aller spektroskopisch bestimmten Mitglieder der Galaxiengruppen HCG016, HCG042 und HCG062 einen Dichteanstieg rund um 200 h^{-1} kpc feststellten. Natürlich können diese Ergebnisse aufgrund der geringen statistischen Signifikanz - nur sehr wenige Galaxien innerhalb dieser Gruppen sind spektroskopisch erfasst - angezweifelt werden. Allerdings könnte man daraus schlussfolgern, dass die Gruppenmitglieder zum Zentrum hin konzentriert sind und sie eine Ausdehnung von bis zu 200 h^{-1} kpc besitzen.

Die Diagramme zur Anzahldichte der einzelnen Gruppen aus dem Sample finden sich in Anhang C. Die x-Achsen der Diagramme geben dabei die Entfernung vom Zentrum der kompakten Galaxiengruppe, normiert auf $h = 75 \text{ km s}^{-1}$, mit einem Binning von 50 h^{-1} kpc an. Die y-Achsen zeigen die Anzahl der Galaxien pro Flächeneinheit des innersten Ringes - mit einem Radius von $r = 50 h^{-1}$ kpc. Die Diagramme zeigen dabei die Verteilung der dE-Galaxien (oben links), der dIrr-Galaxien (oben rechts), die ursprünglich von Hickson identifizierten Gruppenmitglieder (Mitte links) und die Aufsummierung der dE und der dIrr Galaxien (Mitte rechts), wobei

die dE-Galaxien noch einmal hervorgehoben wurden. Unten links finden sich noch die Verteilungen all jener Galaxien, welche sich innerhalb des untersuchten Bereiches befanden, aber als Nicht-Gruppenmitglieder ausgesondert wurden.

Für HCG041, welche nur eine projizierte Gruppe ist, wurden nur Diagramme zur Verteilung der projizierten ursprünglichen Gruppenmitglieder, sowie die Verteilung aller anderen innerhalb des Bereichs gefundenen Galaxien erstellt. Als Entfernung wurden dafür 58 Mpc herangezogen, was der Entfernung einer der vier Galaxien entspricht, wobei nicht die nächst gelegene und nicht die am weitesten entfernte Galaxie verwendet wurde.

Betrachtet man die Diagramme im Anhang C, so erkennt man, dass die Erwartungen zum Großteil eingetroffen sind. Zum Zentrum hin befindet sich die Mehrzahl der identifizierten dE-Galaxien, während die dIrr-Galaxien nach außen hin zunehmen. Vor allem bei HCG025 ist der Abfall der zwergelliptischen von Innen nach Außen sehr gut zu erkennen. Ausnahmen bilden hier HCG058, HCG059 und HCG088, welche alle im innersten Ring mehr Zwergirreguläre Galaxien aufweisen als zwergelliptische.

Die von [ZABLUDOFF und MULCHAEY 1998] beobachtete Spitze in der Galaxiendichte bei $200 \text{ h}^{-1} \text{ kpc}$ konnte mehr oder weniger ausgeprägt bei allen Gruppen gefunden werden. Einige Gruppen, deren untersuchtes Feld größer war, zeigen auch, dass sich die Gruppenzentren bis zu einer Entfernung von $300 \text{ h}^{-1} \text{ kpc}$ ausdehnen, bevor die Anzahl der Gruppenmitglieder pro Flächeneinheit rasch abnimmt. Mit Ausnahme von HCG037 scheint sich auch keine der untersuchten Galaxiengruppen deutlich über das untersuchte Feld hinweg auszudehnen.

[KRUSCH et al. 2003] untersuchten bei ihren ausgewählten kompakten Galaxiengruppen die Umgebung bis zu einer Entfernung von $250 \text{ h}^{-1} \text{ kpc}$. Sie merken in ihrer Arbeit an, dass sie davon ausgehen, dass die kompakten Galaxiengruppen ausgedehnter sind, als sie anhand ihrer Aufnahmen feststellen konnten. Das scheinen die Ergebnisse dieser Untersuchung zu bestätigen. Nimmt man die hier erhaltenen Ergebnisse als Ausgangspunkt für die Berechnung der Ausdehnung von kompakten Gruppen, so scheinen sie einen Durchmesser von etwas weniger als 1 Mpc zu besitzen. Dies würde bedeuten, dass Krusch et al. in ihrer Arbeit mit einer vermuteten Ausdehnung von 2 bis 5 Mpc zu hoch gegriffen hätten.

Eine genauere Betrachtung verdient sicherlich auch noch die Verteilung der Hintergrundgalaxien. Deren Anzahldichte sollte im Optimalfall, ausgehend von einer homogenen Umgebung, möglichst flach sein. HCG037 und HCG088, sowie, mit Abstrichen, HCG059 zeigen eine sehr flache, homogene Verteilung von Hintergrundgalaxien. HCG007 hingegen zeigt einen sehr unregelmäßigen Hintergrund, der gerade in jenem Bereich, in dem sich das Dichtezentrum der Gruppe befinden sollte - zwischen 50 und 200 kpc - eine ausgeprägte Spitze zeigt. Dies könnte bedeuten, dass einige Galaxien, welche eigentlich noch zur Gruppe gehören würden, als Hintergrundgalaxien ausgesondert wurden. Vielleicht würde dies auch den Mangel an zwergelliptischen Galaxien, der in dieser Gruppe festgestellt wurde, erklären.

Eine weitere Unregelmäßigkeit im Hintergrund zeigt HCG025, welche im innersten Kreis einen deutlichen Überschuss an Hintergrundgalaxien verzeichnet. Auch hier ist zu vermuten, dass einige Galaxien aus der Gruppe ausgeschlossen wurden, welche eigentlich Mitglieder sind.

Geht man sowohl bei HCG007, als auch bei HCG025 von einem homogenen Hintergrund aus, könnte die Anzahl der zugehörigen Gruppenmitglieder um 73 ± 10 , beziehungsweise um 13 ± 2 ansteigen. Gerade bei HCG007 könnte diese Anzahl einen großen Unterschied bezüglich der morphologischen Zusammensetzung der Gruppenmitglieder machen.

Auffallend ist zudem der Hintergrund der Gruppe HCG058, der erstaunlich viele Galaxien pro Flächeneinheit aufweist. Allerdings ist diese Galaxiengruppe auch diejenige, welche die meisten detektierten neuen Gruppenmitglieder besitzt. Anzumerken ist noch, dass der Abfall bei einer Entfernung < 300 kpc auf die Verzerrung des untersuchten Feldes zurückzuführen ist und die Anzahldicke für diesen Bereich nicht mehr vollständig ist. Selbiges gilt auch für die Verteilung der Zwerggalaxien ab diesem Radius in dieser Gruppe.

Betrachtet man die Verteilung innerhalb der projizierten Gruppe HCG041, so sieht man einen sehr flachen Verlauf der Dichte. Ein geringer Anstieg nahe des Zentrums der Gruppe könnte auf einige Zwerggalaxien der durch Hickson identifizierten Gruppenmitglieder zurückzuführen sein. Eindeutig ist jedoch, dass es keine markanten Spitzen gibt, wodurch auch ohne eine spektroskopische Erfassung der einzelnen Hauptmitglieder klar ist, dass es sich hierbei nicht um eine echte kompakte Gruppe handelt.

4.8 Leuchtkraftfunktion

Die Erstellung einer Leuchtkraftfunktion kann dazu dienen, Aussagen über die Umgebung zu machen, in welche kompakte Gruppen eingebettet sind. Denn laut [KRUSCH et al. 2006] wird ja die Existenz von vielen massearmen Halo-Galaxien vorhergesagt. Das bedeutet, dass sehr viel mehr Zwerggalaxien mit geringer Leuchtkraft als riesige Galaxien existieren sollten. Außerdem können die gefundenen Galaxien pro Magnitude mit anderen Arbeiten verglichen werden um zu sehen, ob die in dieser Arbeit gefundenen Galaxien vollständig sind.

Wie bereits in Kapitel 1.4 angesprochen, werden Leuchtkraftfunktionen für gewöhnlich mit einer Schechter-Funktion erstellt. Die von [SCHECHTER 1976] entwickelte Funktion (Formel 1.7, beziehungsweise auf Magnituden umgeformt Formel 1.8) für die Galaxien kann auch in folgender Form dargestellt werden:

$$\Phi(L) \propto (L/L^*)^\alpha \exp(-L/L^*) \quad (4.8)$$

Auch hier lässt sich die Proportionalität wieder auf Magnituden umlegen:

$$\Phi(M) \propto [10^{0.4(M^*-M)}]^{\alpha+1} \exp[-10^{0.4(M^*-M)}] \quad (4.9)$$

Die Messung der freien Parameter erweist sich in der Praxis jedoch als außerordentlich schwierig und der Vergleich der Ergebnisse zwischen einzelnen Arbeiten ist aufgrund verschiedener Auswahlkriterien in unterschiedlichen Umgebungen oft nur schwer möglich. Zudem ist es, da die Leuchtkraftfunktion von der Anzahl der Galaxien pro Leuchtkraft abhängt, notwendig, dass die untersuchte Umgebung möglichst komplett erfasst wurde.

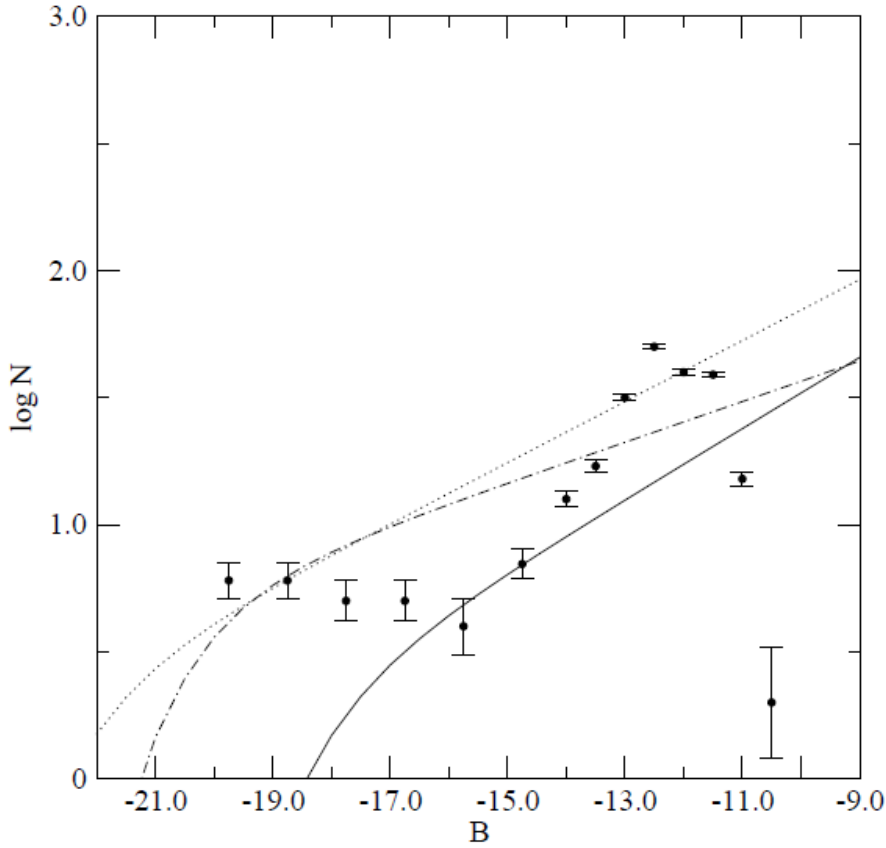


Abbildung 4.5: Die Ergebnisse von [KRUSCH et al. 2006] ihrer Durchmusterung von fünf HCGs. Die Datenpunkte geben die Anzahl an HCG Mitgliedern pro Magnitudenintervall an. Dabei sind die Galaxien im Intervall $-20.25 \leq B \leq -16.25$ in Schritten von einer Magnitude angegeben. Schwächere Galaxien im Intervall $-16.25 \leq B \leq -10.25$ sind in 0.5 Magnituden Schritten dargestellt. Die gestrichelte Linie gibt eine Schechter-Funktion für SDSS Galaxien mit den Parametern $M = -20.83$ und $\alpha = -1.2$ an. Die gepunktete eine Funktion, wie sie für den Kernbereich des Virgohafts erstellt wurde ($M_B = 10.3$ und $\alpha = -1.3$). Die durchgehende Linie schließlich repräsentiert eine Schechter-Funktion für alle zwergelliptischen Galaxien innerhalb des Virgohafts ($M_B = 14.3$ und $\alpha = -1.35$).

Die in dieser Arbeit untersuchten kompakten Galaxiengruppen wurden alle bis hinab zu $M_B = -11.5$ untersucht, wobei einige Gruppen (HCG037, HCG059, HCG079 und HCG088) detektierte Galaxien bis zu einer Helligkeit von $M_B = -9.5$ aufweisen. Da dies jedoch nicht bei allen Gruppen der Fall ist und außerdem anzunehmen ist, dass Galaxien mit so geringer Leuchtkraft in diesen Gruppen nicht in voller Zahl detektiert wurden, ist das Sample in diesem Bereich bei weitem nicht komplett.

Der Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit ist schwierig. Denn obwohl kompakte Gruppen auch in den letzten Jahren immer weiter erforscht wurden, wurde dabei das schwache Ende ihrer Leuchtkraftfunktion meistens vernachlässigt. Zwei wichtige Arbeiten, die sich dieses Gebiets annehmen sind [KRUSCH et al. 2006] und [HUNSBERGER et al. 2000], deren Arbeiten sich intensiv mit kompakten Gruppen aus dem

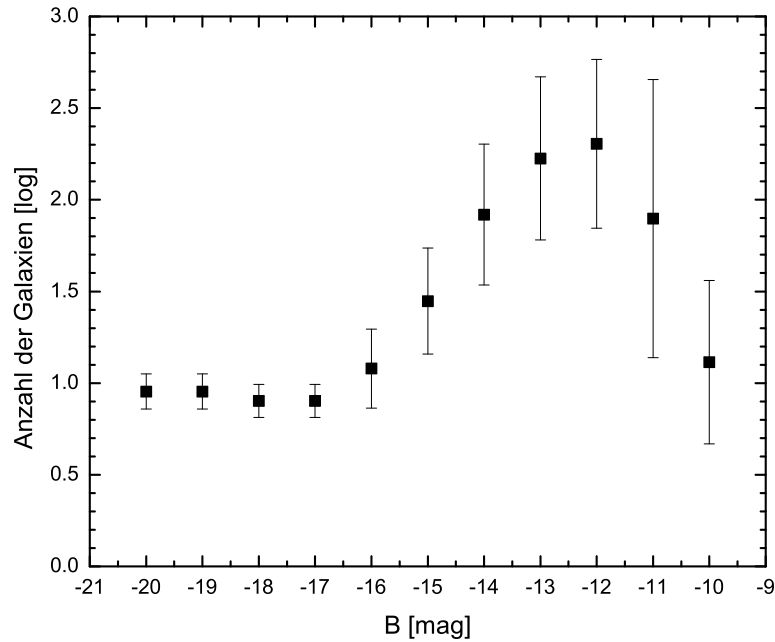


Abbildung 4.6: Die Leuchtkraftfunktion für die sieben untersuchten kompakten Gruppen. HCG041 wurde ausgenommen, da es sich dabei nur um einen Projektionseffekt handelt.

Hickson Katalog beschäftigen (siehe auch Kapitel 2). Hunsberger et al. erstellten eine Leuchtkraftfunktion für 39 Gruppen und fanden dabei heraus, dass sich die Ergebnisse am besten mit zwei unterschiedlichen Schechter-Funktionen darstellen ließen. Eine Funktion für das hellere Ende und eine weitere für das dunklere Ende.

[KRUSCH et al. 2006] bestimmten die Leuchtkraftfunktion ihrer untersuchten fünf kompakten Gruppen bis hinab zu $M_B = -12.5$. Dabei stellten sie fest, dass das helle Ende der Funktion durch ein Plateau gekennzeichnet ist. Danach steigt die Anzahl der Galaxien bis hin zu einer Magnitude von $M_B = -12$ stetig an. Anschließend fällt die Anzahl der Galaxien pro Magnitude drastisch ab, was sie auch auf die limitierende Magnitude der Untersuchung zurückzuführen ist. Die Ergebnisse dieser Arbeit, zusammen mit dem Vergleich dreier unterschiedlicher Leuchtkraftfunktionen, ist in Abbildung 4.5 dargestellt.

Die erhaltene Leuchtkraftfunktion dieser Arbeit ist in Abbildung 4.6 zu sehen. Das Binning betrug, unabhängig von der Helligkeit, eine Magnitude. Die gefundene Leuchtkraftfunktion ist jener von [KRUSCH et al. 2006] sehr ähnlich. Wie auch bei Krusch et al. gibt es hier ein Plateau am hellen Ende der Funktion bis hin zu $M_B = -17$. Dort setzt dann eine starke Steigung ein, die ihr Maximum bei $M_B = -12$ erreicht, bevor die Anzahl der Galaxien pro Magnitude rasant wieder abfällt. Das Plateau bei den hellen Galaxien kommt durch die Auswahl effekte der kompakten Gruppen zustande. Diese Auswahl schließt bekanntlich weitere helle

Galaxien in der näheren Umgebung der Gruppe aus. Der abrupte Abfall am dunkeln Ende der Funktion, kann, wie auch bei den Daten von Krusch et al., durch das Limit der Beobachtung erklärt werden. Zudem konnten nur bei vier der sieben kompakten Gruppen dermaßen leuchtkraftschwache Galaxien detektiert werden. Die Leuchtkraftfunktionen der einzelnen Gruppen sind in Anhang D zu sehen.

Durch die erstaunlich große Ähnlichkeit der in dieser Arbeit erhaltenen Resultate bezüglich der Leuchtkraftfunktion mit den Ergebnissen von [KRUSCH et al. 2006] lassen sich auch deren Schlussfolgerungen direkt vergleichen.

4.9 Projizierte Masse und Radius

Nach der Erstellung der Morphologie-Dichte-Verteilung wurde klar, dass in einigen Fällen die kompakten Gruppen über das untersuchte Feld hinausreichen. Daher wurde über den Umweg der projizierten Masse M_{PM} , die Ausdehnung des *zero velocity surface* Radius R_0 berechnet, um abzuschätzen, in welche Größenordnungen kompakte Galaxiengruppen einzuordnen sind.

[HEISLER et al. 1985] testeten in ihrer Arbeit vier verschiedene Masseabschätzungen für Gruppen: Das Virialtheorem, die projizierte Masse, die Median-Masse und die durchschnittliche Masse. Während neuere Arbeiten, wie jene von [ACEVES und PEREA 1999], zeigen, dass Annahmen mittels projizierter Masse um bis zu 20% erhöht sein können, bietet das genauere Virialtheorem im Rahmen dieser Arbeit dennoch keine Alternative. Denn das Virialtheorem liefert nur dann präzise Ergebnisse, wenn die potenzielle Energie korrekt angenommen und das zu untersuchende System komplett erfasst wurde. Da es sowohl keine Annahmen zur potenziellen Energie gibt, und auch die untersuchten kompakten Gruppen nicht in ihrer Gesamtheit erfasst wurden, würden bei einer Berechnung mit Hilfe des Virialtheorems ähnliche Fehler entstehen, als sie Berechnungen mittels projizierter Masse ohnedies aufweisen.

Daher zeigte sich für diese Arbeit die Annahme der projizierten Masse für am besten geeignet:

$$M_{PM} = \frac{f_{PM}}{GN} \sum_i v_{zi}^2 r_{\perp i} \quad (4.10)$$

Da für die untersuchten Gruppen keine spezifischen Informationen über deren Orbits bekannt sind, wurde der Empfehlung von [HEISLER et al. 1985] gefolgt und $f_{PM} = 32/\pi$ gesetzt. Da sowohl die Geschwindigkeit v_{zi} , als auch der Radius $r_{\perp i}$ relativ zum Zentrum der Masse des Systems angegeben werden, aber nur deren relative projizierten Werte rund um das Zentrum bekannt sind, muss die Formel um einen weiteren Parameter erweitert werden:

$$M_{PM} = \frac{f_{PM}}{GN(1-\alpha)} \sum_i V_{zi}^2 R_{\perp i} \quad (4.11)$$

Berechnungen durch Heisler et al. zeigten, dass sowohl für radiale, als auch für isotropische Orbits ein Wert von $\alpha = 1.5$ am besten geeignet ist. Daher ergibt sich schließlich die folgende Formel:

$$M_{PM} = \frac{32/\pi}{GN(1-1.5)} \sum_i V_i^2 R_i \quad (4.12)$$

M_{PM} steht dabei für die projizierte Massenannahme. N gibt die Anzahl der verwendeten Galaxien an, V_i die radiale Geschwindigkeit der Galaxie und R_i die radiale projizierte Distanz vom Gruppenzentrum.

Ein Problem bei der Berechnung der projizierten Masse, neben dem sehr hohen möglichen Fehler, liegt darin, dass die Galaxien in kompakten Gruppen triaxial und nicht sphärisch symmetrisch sind. Bereits [HICKSON 1997] stellte fest, dass die von ihm entdeckten Gruppen typischerweise gestreckt sind. Außerdem scheint die Geschwindigkeitsdispersion in Gruppen, wie auch in Galaxienhaufen, nicht isotropisch zu sein, wovon die Gleichung jedoch ausgeht. Daher ist davon auszugehen, dass bei der Masseberechnung vom schlimmsten Fall, mit einem Fehler von 20% auszugehen ist.

Um die projizierte Masse für die einzelnen Gruppen zu berechnen, war die Geschwindigkeitsdispersion der Gruppenmitglieder notwendig. In der Annahme, dass kompakte Gruppen ausgedehnter sind als angenommen, beziehungsweise, dass sie in offene Gruppen eingebettet sind, wurden Galaxien mit vorhandenen Geschwindigkeiten in einem Radius von 1 Mpc rund um die einzelnen Gruppen durchsucht. Alle projizierten Galaxien innerhalb dieses Bereichs, deren Geschwindigkeit nicht mehr als 500 km s^{-1} von der Geschwindigkeitsdispersion der Gruppe abwich, wurden schließlich zur Berechnung herangezogen.

[HICKSON et al. 1992] maß eine relativ geringe Geschwindigkeitsdispersion innerhalb seiner Gruppen von etwa $\sim 200 \text{ km s}^{-1}$ und [TOVMASIAN et al. 2006] fanden heraus, dass die berechnete Geschwindigkeitsdispersion von HCGs plus ihrer Umgebung, sich nur gering von jener der kompakten Gruppen selbst unterschied. In manchen Fällen war die Geschwindigkeitsdispersion der kompakten Gruppe plus deren Umgebung sogar niedriger als bei den kompakten Gruppen alleine. Damit sollte ein Wert von 500 km s^{-1} rund um die Geschwindigkeitsdispersion der jeweiligen Gruppe mehr als ausreichend groß genug sein.

Innerhalb der NED-Datenbank fanden sich für jede Gruppe zwischen 6 und 32 Galaxien mit entsprechenden Geschwindigkeitsdispersionen. Die Angaben zur Geschwindigkeitsdispersion der Gruppen stammt von [HICKSON et al. 1992]. Betrachtet man die Geschwindigkeiten der durch NED erhaltenen Galaxien in Anhang E, so sieht man, dass nur wenige mehr als 300 km s^{-1} von der Geschwindigkeitsdispersion der Gruppe abweichen. Eine Ausnahme bildet dabei HCG037, deren Galaxien sehr breit gefächert sind. Auffällig ist auch die Spitze bei HCG058 bei $+200 \text{ km s}^{-1}$.

Nach der Bestimmung der Massen der einzelnen Gruppen, konnte anhand der Formel nach [SANDAGE 1986], deren *zero velocity surface* Radius berechnet werden:

$$R_0 = \left(\frac{8GT^2}{\pi^2} M_{PM} \right)^{1/3} \quad (4.13)$$

In der Formel steht G für die Gravitationskonstante, M_{PM} für die projizierte Masse und T für das Alter des Universums, welches in diesem Fall mit 14 Gigajahren angenommen wurde.

Tabelle 4.4: Die projizierte Masse der sieben kompakten Gruppen des Samples, der Radius, sowie der Fehler für beide Werte. Die Fehler gehen dabei vom schlechtesten Fall der Massenabschätzung aus und sind daher mit 20% angegeben. In das Sample wurden alle Galaxien (inklusive der eigentlichen Mitgliedsgalaxien) in einem Radius von 1 Mpc und mit einer Geschwindigkeitsdispersion von 500 km s^{-1} von der kompakten Gruppe aufgenommen.

HCG	N	M_{PM} [M_{\odot}]	ΔM_{PM} [M_{\odot}]	R_0 [kpc]	ΔR_0 [kpc]
007	9	1.1327×10^{13}	2.2655×10^{12}	2007	1173
025	9	7.2059×10^{12}	1.4412×10^{12}	1726	1009
037	32	6.3692×10^{13}	1.2718×10^{13}	3567	2086
058	20	2.7210×10^{13}	5.4419×10^{12}	2688	1572
059	9	5.1863×10^{10}	1.0373×10^{10}	1405	194
079	9	3.5447×10^{13}	7.0895×10^{12}	2945	1716
088	6	2.0481×10^{12}	4.0963×10^{11}	1135	663

Die erhaltenen Massen und Radien sind in Tabelle 4.4 zusammengefasst. Die Fehler für die Masse und die Radien wurden beide für die höchste Ungenauigkeit von 20% angenommen. Dabei ist generell anzunehmen, dass die errechneten Massen höher liegen, als sie berechnet wurden. Die gefundenen Massen liegen im Bereich, in dem auch offene Gruppen zu finden sind und sind mit den ermittelten Ergebnissen von [KRUSCH et al. 2003] konsistent. Auffallend in diesem Sample ist jedoch HCG059, welche eine sehr geringe Gesamtmasse aufweist, die sich deutlich von den anderen Gruppen abhebt. Die aufgrund der Masse berechneten Radien schwanken zwischen 1 Mpc und 3.5 Mpc, womit kompakte Gruppen Ausdehnungen von Galaxienhaufen zu haben scheinen. Aufgrund der großen maximal möglichen Fehler, ist hier jedoch eine konkrete Aussage nur schwer möglich.

Anzumerken ist noch, dass, obwohl dieselben Daten zur Verfügung standen, die Resultate von [KRUSCH et al. 2003] nicht reproduziert werden konnten.

Kapitel 5

Diskussion

Obwohl kompakte Galaxiengruppen seit mehr als Einhundert Jahren bekannt sind, gibt es immer noch eine große Kontroverse über ihre physikalische Beschaffenheit und wo in der Hierarchie der Galaxienhaufen und Galaxiengruppen sie einzuordnen sind. Die Untersuchung der Zwerggalaxienpopulation innerhalb der am besten erforschten kompakten Gruppen - 100 von [HICKSON 1982] in einem Katalog zusammengefasste Anordnungen - könnte Rückschlüsse auf ihre Beschaffenheit, ihre Entwicklung und die Umgebung, in der sie eingebettet sind, geben.

Es war daher das Ziel dieser Arbeit Zwerggalaxien innerhalb der untersuchten sieben kompakten Galaxiengruppen zu identifizieren. Dabei wurde besonderer Wert auf eine breit gefächerte Suche auch in der Umgebung der Gruppen, sowie auf besonders leuchtkraftschwache Objekte gelegt. Ein großes Gesichtsfeld war durch die Beobachtungsdaten der SDSS gegeben und eine möglichst exakte Trennung zwischen Sternen und Galaxien, sowie eine genaue Messung der Leuchtkräfte wurde durch die Anwendung des Programms SExtractor, sowie der automatischen Reduktionsroutine der SDSS ermöglicht.

Mittels der neu gefundenen Zwerggalaxien sollte es möglich sein, eine ungefährlie morphologische Zusammensetzung dieser Population herauszufinden, welche wiederum Rückschlüsse auf die Beschaffenheit der kompakten Gruppen selbst zulassen sollte. Außerdem war es mit den Zwerggalaxien möglich eine Leuchtkraftfunktion zu erstellen, womit abgeschätzt werden konnte, ob die gemachten Entdeckungen mit gängigen Theorien im Einklang stehen und ob - gerade am schwierig zu detektierenden dunklen Ende der Funktion - noch weitere Zwerggalaxien zu erwarten sind, oder ob die Untersuchung genau genug war, sodass der Großteil der Zwerggalaxienpopulation innerhalb der kompakten Gruppen detektiert wurde.

Mit der ermittelten Verteilung der Zwerggalaxien wurde versucht eine Aussage über die Ausdehnung der Gruppen zu treffen. Diese Abschätzungen wurden dann mittels der Annahme einer projizierten Masse und einem errechneten *zero-velocity surface* Radius R_0 überprüft. Wie bereits bei anderen Untersuchungen zuvor, sollten diese Ergebnisse helfen, die Beschaffenheit von kompakten Gruppen zu definieren, vor allem aber klären, wie ausgedehnt diese Strukturen wirklich sind.

5.1 Morphologie im FHD

In Übereinstimmung mit den Arbeiten von [KRUSCH et al. 2003] und [KRUSCH et al. 2006] wurde für die morphologische Bestimmung der gefundenen Zwerggalaxien in erster Linie ein Farben-Helligkeitsdiagramm herangezogen. Die Theorie dahinter stammt von [SECKER et al. 1997], der herausfand, dass sich die Population von zwergelliptischen Galaxien im von ihm untersuchten Coma-Haufen, beim Auftragen in ein FHD hauptsächlich auf einen schmalen Bereich beschränkte. Diese Entdeckung wurde von [CONSELICE et al. 2002] bei ihrer Untersuchung des Perseus-Haufens bestätigt. Beide fanden für diese so genannte Rotsequenz sehr ähnliche Gleichungen, die in den Formeln 4.1 und 4.2 zu sehen sind. Nach dieser Theorie sollten sich Galaxien, welche diesseits der Rotsequenz im blauen Bereich des FHD liegen entweder Fordergrundobjekte oder zwergirreguläre Galaxien sein. Galaxien, die deutlich röter waren als die Rotsequenz wiederum, sollten Hintergrundobjekte sein und nicht zum eigentlichen Haufen, oder zur Gruppe gehören.

Obwohl diese Methode weit davon entfernt ist übermäßig korrekt zu sein, wurde sie dennoch in Ermangelung einer besseren Alternative zur morphologischen Bestimmung der Zwerggalaxien verwendet. Eine sehr viel einfachere, und unter Umständen auch genauere Methode, wäre eine visuelle Bestimmung der gefundenen Objekte gewesen. Allerdings erwiesen sich die Daten der SDSS als zu schlecht, als das damit eine sichere morphologische Bestimmung möglich gewesen wäre.

Als weiteren Ansatzpunkt für eine morphologische Bestimmung, sollten daher für alle gefundenen Galaxien Oberflächenhelligkeitsprofile erstellt werden. Sollten diese Profile mittels eines Sérsic-Profils dargestellt werden können, und der Sérsic Parameter dabei < 2 bleiben, so wäre die Wahrscheinlichkeit, dass es sich dabei um eine dE-Galaxie handelte, sehr groß. Eine detaillierte Beschreibung zur Theorie des Sérsic-Profils ist unter 4.3 zu finden.

Wieder erwiesen sich allerdings hier die Daten der SDSS als grenzwertig für dieses Unterfangen. Nur für relativ helle Zwerggalaxien und bei Aufnahmen mit geringem Seeing konnten erfolgreiche Sérsic-Profile erstellt werden. Erstaunlich war dabei, dass auch Galaxien außerhalb der Rotsequenz, sowohl im roten, als auch im blauen Bereich, passende Sérsic-Parameter aufwiesen. Dies stützte die These, dass die Rotsequenz kein eindeutiger Indikator für die Morphologie von Galaxien darstellt. Jedoch muss auch angemerkt werden, dass auch der Sérsic-Parameter bei besonders leuchtkraftschwachen Objekten und aufgrund von Unregelmäßigkeiten innerhalb der Galaxie oder deren unmittelbarer Umgebung, leicht zu beeinflussen ist, weshalb auch er keinen eindeutigen Hinweis gibt. Daher wurde der Sérsic-Parameter in erster Linie dazu verwendet eindeutige Hintergrundobjekte aus dem Sample auszusondern und die morphologische Klassifikation rein anhand der Rotsequenz im FHD durchgeführt.

Dabei wurde zwischen drei Typen von Galaxien unterschieden. Galaxien innerhalb eines 1σ -Fehlers der Rotsequenz wurden als dE-Galaxien deklariert. Objekte, welche blauern waren als dIrr-Galaxien und Objekte, die roter waren, als potentielle weitere dE- oder auch Hintergrundgalaxien.

Mit Ausnahme von HCG007 fand sich in allen untersuchten kompakten Gruppen eine Mehrheit an dE-Galaxienkandidaten. Die gefundenen Zwerggalaxien aller Gruppen, zusammen mit den von Hickson ursprünglich identifizierten Gruppenmit-

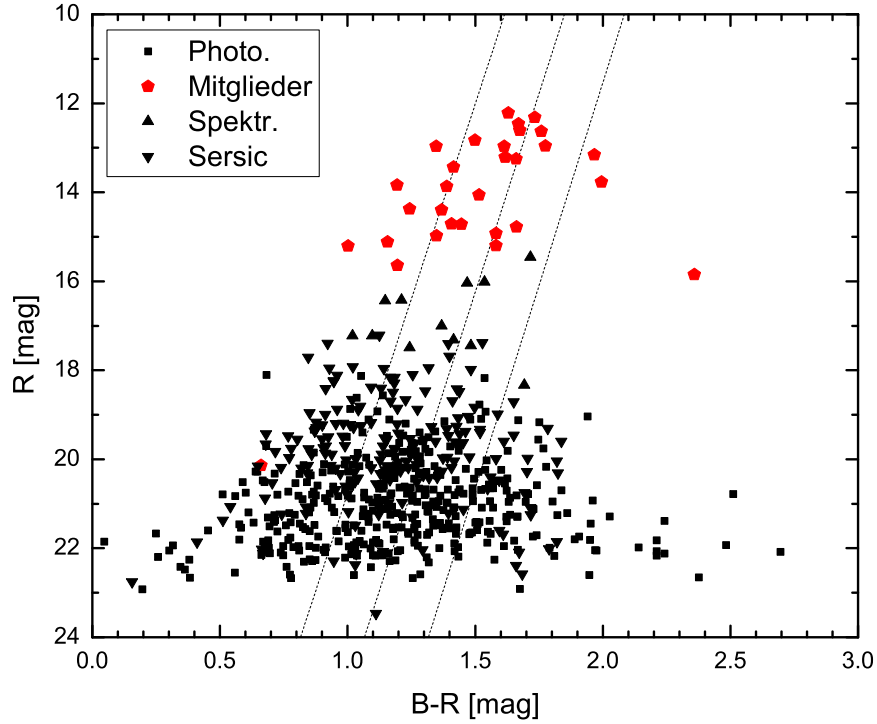


Abbildung 5.1: Ein FHD im Johnson-System für alle Gruppen - mit Ausnahme von HCG041 - des Samples. Wie bei den FHDs in Anhang A haben die Symbole hier folgende Bedeutung: Die von Hickson identifizierten Gruppenmitglieder sind durch rote Fünfecke dargestellt. Spektroskopisch identifizierte Mitglieder durch Dreiecke. Galaxien, für die ein passendes Sérsic-Profil erstellt werden konnte durch verkehrte Dreiecke. Alle anderen Galaxien, die hauptsächlich durch ihre photometrische Rotverschiebung in das Sample aufgenommen wurden, sind durch Quadrate dargestellt.

gliedern sind in Abbildung 5.1 zusammengefasst.

Im Durchschnitt beträgt der Anteil an dE-Galaxien in alle Gruppen gemeinsam 54.3%. Dieser Wert liegt deutlich unter dem von [KRUSCH et al. 2006] gefundenen Wert von mehr als 75%. Auch dann noch, wenn man jene Galaxien, die im roten Bereich des FHDs, außerhalb der Rotsequenz, liegen, als zusätzliche dE-Galaxien klassifiziert. In diesem Fall beträgt der Anteil an dE-Galaxien 69%. Dies ist erstaunlich, da die Untersuchung von Krusch et al. leuchtkraftschwächere Galaxien erfassen sollte, als das SDSS, und leuchtkraftschwächere Zwerggalaxien zumeist Zwergirreguläre sind. Es bieten sich mehrere Möglichkeiten an, wie dieser Unterschied erklärt werden kann: Zum einen ist es möglich, dass Krusch et al. bei ihrer Datenreduktion mit dem SExtractor zu restriktiv waren und dadurch leuchtkraftschwache Zwergirreguläre aus ihrem Sample ausgeschlossen haben. Dem gegenüber steht natürlich die Möglichkeit, dass die Restriktionen im Rahmen dieser Arbeit zu gering waren und eine größere Kontamination von Vordergrundobjekten vorliegt. Allerdings wurden alle

Ergebnisse durch den SExtractor mit den Ergebnissen der SDSS gegen geprüft und nur Objekte in das Sample aufgenommen, die von beiden Suchroutinen als Galaxien klassifiziert wurden. Die letzte Möglichkeit besteht in einem systematischen Fehler der SDSS-Such- und Reduktionsroutine, nach der Zwerggalaxien nahe an größeren Objekten blauer detektiert werden, als sie eigentlich sind. Diese Möglichkeit wird dadurch gestützt, dass für viele der blauen Galaxien ein, für dE-Galaxien passender, Sérsic-Parameter ermittelt werden konnte. Dies könnte auch erklären, warum, im Gegensatz zu der Arbeit von Krusch et al., in den Kernregionen der kompakten Gruppen recht viele dIrr-Galaxien gefunden wurden. Zudem fanden [LISKER et al. 2005] heraus, dass die Reduktionsroutine von SDSS den lokalen Himmelshintergrund oft als zu hoch bestimmt, wobei der Fehler in den verschiedenen Filtern unterschiedlich stark ist. Inwieweit sich dies auf die morphologische Bestimmung mittels Rotsequenz auswirkt, müsste in Zukunft noch untersucht werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind jedoch in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von [HUNSBERGER et al. 2000], die eine große Anzahl von Gezeitenzweigen in kompakten Gruppen prognostizierten. Diese sollten, mit der Morphologiebestimmung der Rotsequenz als dIrr-Galaxien aufscheinen und so die Anzahl dieses Galaxientyps steigen lassen. Vor allem kompakte Galaxiengruppen, in denen es rege Interaktionen gibt, sollten daher eine ausgeprägte Population an dIrr-Galaxien, beziehungsweise von Gezeitenzweigen, aufweisen. Innerhalb des Samples gibt es zwei Gruppen (HCG037 und HCG079) welche deutliche Anzeichen von Interaktion zeigen. Dabei hat jedoch HCG037 die höchste Rotverschiebung des Samples und es scheint unwahrscheinlich, dass das Teleskop der SDSS groß genug ist, um auf diese Distanzen noch viele Gezeitenzweige detektiert. Betrachtet man nun aber HCG079, so hat diese Gruppe den größten Anteil an dE-Galaxien von allen Gruppen des Samples. Zusätzlich ist HCG007, jene Gruppe mit den meisten gefundenen dIrr-Galaxien, eine Gruppe, die nur sehr wenig Interaktionen zeigt.

Aufgrund der erhaltenen Ergebnisse und jener, die bereits in der Literatur vorhanden sind, ist daher immer noch keine deutliche Aussage über die morphologische Zusammensetzung der Zwerggalaxienpopulation innerhalb von kompakten Gruppen zu treffen.

5.2 Morphologie mit Sérsic

Neben der Bestimmung der Morphologie mit Hilfe der Rotsequenz innerhalb des FHDs, ist es auch noch möglich, eine Abschätzung der morphologischen Verteilung mittels der ermittelten Sérsic-Profilen zu machen. Hierfür wurden, wie in Kapitel 4 bereits beschrieben, nur Galaxien verwendet, deren Magnitude $B < 21$ beträgt. Dunklere Galaxien wurden ausgegrenzt, da bei diesen nur in wenigen Fällen die Bestimmung eines Oberflächenhelligkeitsprofils und damit die Berechnung eines Sérsic-Parameters möglich war.

Die Anzahl der Galaxien mit einem Sérsic-Parameter < 2 sollte die Mindestanzahl an zwergelliptischen Galaxien in den jeweiligen Gruppen wiedergeben, da elliptische Galaxien aller Art über ein exponentielles Profil verfügen, welches durch diesen Sérsic-Parameter definiert wird. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.3 zusammengefasst. Da IRAF nicht in der Lage war, bei allen Galaxien ein Helligkeitsprofil zu er-

stellen, sollte die Anzahl der zwergelliptischen Galaxien innerhalb der Gruppen nach dieser Methode höher liegen als ermittelt. Dies gilt vor allem für HCG058, in welcher für 1/6 der untersuchten Fläche keine Helligkeitsprofile erstellt werden konnten. Die Ergebnisse der projizierten Gruppe HCG041, die als Vergleich ebenfalls untersucht wurde, lassen aber Zweifel an der Richtigkeit der Resultate aufkommen. Denn für 96% aller Galaxien in dem untersuchten Bereich dieser Gruppe wurde ein Sérsic-Profil ermittelt, welches passend für elliptische Galaxien ist.

Die erhaltenen morphologischen Verteilungen für jede Gruppe weichen nur gering von der Bestimmung mittels FHD ab. Jedoch wurde in drei Galaxiengruppen (HCG037, HCG0058 und HCG088) eine Minderheit in der Population der zwergelliptischen Galaxien festgestellt. Dieser Mangel ist vor allem bei HCG088 mit einem Anteil von nur 27% eklatant. Im Gegensatz dazu weißt HCG007, welches nach der Methode der Rotsequenz ein Defizit aufwies, nun eine Mehrheit von zwergelliptischen auf. Der Durchschnitt für alle sieben kompakten Gruppen beträgt 51%. Womit der Anteil auf diese Art und Weise geringfügig geringer ist, als nach der Bestimmung mittels Rotsequenz (54.3%). Allerdings ist dieser Wert sicherlich nur die Untergrenze der möglichen Population an zwergelliptischen Galaxien.

Anzumerken ist noch, dass die beiden Methoden zur morphologischen Bestimmung - mittels Rotsequenz im FHD und mittels Sérsic-Parameter - zwar aufsummiert ähnliche Ergebnisse liefern, die Zuordnung der einzelnen Galaxien jedoch gänzlich unterschiedlich ist. Denn viele Galaxien, bei denen es sich laut Sérsic-Parameter um zwergelliptische Galaxien handelt, liegen in jenem Bereich des FHDs, in dem sich laut [SECKER et al. 1997] nur zwergirreguläre Galaxien befinden sollten

Fehler bezüglich der Berechnung des Sérsic-Parameters könnten durch die geringe Auflösung in der SDSS entstehen. Auch die Genauigkeit des Befehls *ellipse* des Programms IRAF ist nicht bekannt und könnte für weitere Fehler verantwortlich sein.

5.3 Anzahl der Zwerggalaxien pro Gruppe

Die Anzahl der gefundenen Zwerggalaxienkandidaten in den sieben untersuchten Gruppen variiert stark; zwischen 218 in HCG058 und 18 in HCG079. Dies hat mehrere Ursachen. Zum einen sind die Gruppen unterschiedlich weit entfernt. Dies bedeutet, dass in den näheren Gruppen dunklere Galaxien untersucht werden konnten, als in jenen, die sich weiter entfernt befinden. Zudem war das Suchfeld in den kompakten Gruppen nicht jedes Mal gleich groß.

Dennoch bleibt immer noch ein deutlicher Unterschied in der Anzahl der gefundenen neuen Objekte. [HUNSBERGER et al. 2000], der die Verteilung von Zwerggalaxien in kompakten Gruppen untersuchte, fand heraus, dass die Anzahl der Zwerge in Gruppen mit einer E oder S0-Galaxie als leuchtkräftigstes Objekt deutlich höher sind, als in Gruppen, in denen dies nicht der Fall ist. Gleiches fand er für Gruppen mit und ohne Röntgenemissionen (siehe auch Tabelle 2.1).

Zum verbesserten Vergleich der einzelnen Gruppen werden daher nur Galaxien bis zu $M_B < -12$ verwendet. Es werden außerdem nur Galaxien mit einem Abstand von weniger als 350 kpc vom Gruppenzentrum für diese Untersuchung herangezogen. Zusätzlich werden jene Galaxien, die im roten Bereich des FHDs liegen aufgrund

Tabelle 5.1: Die Population der Zwerge innerhalb der untersuchten kompakten Gruppen. Nur Zwerge, die $M_B < -12$ aufweisen und innerhalb von 350 kpc der Gruppe liegen, wurden für diese Auswertung herangezogen (441 Zwerggalaxienkandidaten). Die Tabelle orientiert sich an der Arbeit von [HUNSBERGER et al. 2000]. Siehe hierzu auch Tabelle 2.1.

Beschreibung der Untermenge	Riesen pro Gruppe	Zwerge pro Gruppe	Zwerge pro Riese
Alle Gruppen (7)	4.3	63.0 ± 18.8	14.2 ± 3.6
mit E/S0 an 1. Stelle (2)	4.5	36.5 ± 35.4	15.4 ± 10.5
mit S an 1. Stelle (5)	4.2	73.6 ± 29.4	16.8 ± 6.1

ihrer unklaren Natur von der Untersuchung ausgeschlossen.

Das Ergebnis fällt bei weitem nicht so deutlich aus, wie bei [HUNSBERGER et al. 2000]. Dieser hatte jedoch auch ein Sample, bestehend aus 39 HCGs, wobei 14 davon eine elliptische Galaxie als hellstes Gruppenmitglied besitzen. In dieser Arbeit stehen nur die Daten von 7 HCGs zur Verfügung, wovon 2 - HCG037 und HCG079 - eine dominante elliptische Galaxie besitzen. Innerhalb der Fehler findet sich dennoch eine Mehrheit an Zwergen in Gruppen, deren leuchtstärkstes Mitglied eine elliptische Galaxie ist.

Fügt man jene unklaren Galaxien aus dem roten Bereich des FHDs der Untersuchung hinzu - es sind nur in den Gruppen HCG025, HCG037 und HCG058 Galaxien diesen Typs vorhanden, welche auch die beiden anderen Kriterien erfüllen - so wird das Ergebnis nur ausgeprägter, verändert sich jedoch ansonsten nicht.

Es scheint also zu stimmen, dass die Interaktionen zwischen den Galaxien einen wichtigen Beitrag zur Entstehung von Zwerggalaxien leisten. Dies wird dadurch gestützt, da HCG079 die meisten Interaktionen von allen kompakten Gruppen des Samples aufweist und auch HCG037 einen sehr kompakten Charakter besitzt, auch wenn hier keine deutlichen Anzeichen von Interaktionen zu sehen sind.

Um diesen Punkt weiter zu untersuchen wäre ein ähnlich großes Sample notwendig, wie es [HUNSBERGER et al. 2000] und auch [DE CARVALHO et al. 1994] verwendeten. Denn nur durch eine große Anzahl an kompakten Gruppen, könnten die statistischen Fehler, die in dieser Arbeit noch sehr groß sind, verringert werden, wodurch das Endergebnis eine bessere Aussagekraft besäße.

5.4 Räumliche Verteilung und Anzahldichte

Indem die Koordinaten der neu gefundenen Zwerggalaxien in einem Diagramm aufgetragen wurden, konnte ein Einblick in deren Verteilung rund um das Galaxienzentrum gefunden werden (siehe Anhang B). Hierbei wurden keine besonderen Ergebnisse erwartet. Vielmehr galt es darauf zu achten, ob es bestimmte Bereiche gibt, welche auffallend bar jeglicher Zwerggalaxien sind. Das Vorhandensein solcher Lücken konnte am leichtesten mit allen gefundenen Objekten innerhalb des Suchfeldes durchgeführt werden. Mehrere solche Bereiche wurden letztendlich auch gefunden. Doch befand sich jedes Mal ein leuchtkräftiger Vordergrundstern an dieser

Stelle, welcher die Abwesenheit von leuchtkraftschwachen Galaxien erklärte.

Aber nicht nur die Verteilung aller gefundenen Objekte mit Hilfe des SExtractor war gleichmäßig, sondern auch jene, der schließlich in das Sample aufgenommenen Galaxien. Anhand der Koordinaten, konnte so keine ungleichmäßige Verteilung der verschiedenen Galaxientypen gefunden werden. Auch scheint es keinen Zusammenhang zwischen der Lage der Galaxien in der Gruppe und der Möglichkeit, über die Galaxie ein Sérsic-Profil zu legen, zu geben.

Weiters wurden, aufgrund der morphologischen Einschätzung mit Hilfe des FHDs im Johnson-System, Anzahldichtediagramme für dE- und dIrr-Galaxien, sowie für den Hintergrund erstellt (Diagramme hierzu siehe Anhang C). Diese Diagramme sollten zum einen Auskunft über die Ausdehnung der einzelnen Gruppen, vor allem aber auch Informationen über die Verteilung der beiden Galaxientypen innerhalb der Gruppe geben. Größtenteils wurden dabei dE-Galaxien nahe des Zentrums gefunden, während die dIrr-Galaxien mehr oder weniger gleichmäßig verteilt zu finden sind. Jedoch ist in einigen Gruppen - HCG037, HCG058, HCG059 und HCG088 - innerhalb der innersten 50 kpc ein eklatanter Mangel an dE-Galaxien feststellbar. Ein solcher Mangel wurde bei [KRUSCH et al. 2003], welche sehr ähnliche Diagramme anfertigten, nicht gefunden. Eine mögliche Erklärung könnte das Intragruppen Medium sein, welches die Galaxien in diesem Bereich blauer aussehen lässt, als sie tatsächlich sind, wodurch es zu einer falschen morphologischen Einschätzung in diesem Bereich kommt.

Die hohen Fehlerbalken in den Diagrammen machen jedoch deutlich, dass die gefundene Verteilung keineswegs vollständig sein muss - ausgehend davon, dass jede kompakte Gruppe eine etwa gleiche Anzahl an Zwerggalaxien aufweist. Betrachtungen der Verteilung der ausgesonderten Hintergrundgalaxien, bestätigen die Vermutung, dass einige Galaxien dem Sample entgangen sind, zum Teil. Ausgehend von einer homogenen Verteilung der Galaxien im Hintergrund, würde man in den dazugehörigen Diagrammen auch eine flache Verteilung der Galaxien erwarten. Diese Verteilung ist jedoch nicht bei allen sieben Gruppen zu finden. Besonders HCG007 zeigt einen sehr unregelmäßigen Hintergrund, mit auffallend vielen Objekten im Bereich 50-150 kpc vom Gruppenzentrum entfernt. Es ist anzunehmen, dass einige dieser Objekte in der Tat noch zusätzliche Gruppenmitglieder sind. Auch HCG025, die prinzipiell einen sehr flachen Hintergrund besitzt, weist eine deutliche Spitze innerhalb von 50 kpc vom Gruppenzentrum auf.

Als Vergleich zu den kompakten Galaxiengruppen wurde auch ein Dichteprofil von HCG041 erstellt, welche erwiesenermaßen eine projizierte Gruppe ist. Bei dieser Gruppe findet sich eine sehr flache und gleichmäßige Verteilung von Galaxien. Eine Ausnahme bildet dabei der innerste Bereich, in dem es einen Mangel an Galaxien zu geben scheint. Dieser Mangel wird jedoch durch die Anwesenheit der vier großen Galaxien der Gruppe erklärt, die hier zum Teil dunklere Objekte im Hintergrund überblenden.

Mit den Ergebnissen dieser Arbeit, sind damit die Ergebnisse von [KRUSCH et al. 2003] bestätigt. Die Kernregionen der kompakten Gruppen werden großteils von dE-Galaxien dominiert, wohingegen sich dIrr-Galaxien in allen Bereichen der Gruppen finden lassen. Der Mangel an dE-Galaxien nahe des Zentrums in kompakten Gruppen lässt sich entweder durch falsche, beziehungsweise mangelnde Detektion

erklären, oder aber auch durch die Theorie, dass es verschiedene Subgruppen von kompakten Gruppen gibt, die entweder unterschiedliche Entstehungsprozesse, oder unterschiedlich lange Entwicklungszeiten aufweisen.

Anhand der Dichteprofile konnte auch eine erste Abschätzung der Ausdehnung der kompakten Gruppen gemacht werden. Die meisten der kompakten Gruppen weisen Mitglieder bis über 450 kpc vom Zentrum weg auf. Dies ist ein weiterer Hinweis auf die Theorie, dass kompakte Gruppen in der Tat in offene Gruppen eingebettet sind. Es gibt jedoch auch Gruppen, welche eine deutlich geringere Ausdehnung zu haben scheinen. Besonders HCG059 und HCG079 scheinen sehr kompakte Systeme zu sein. Es wäre somit möglich, dass es kompakte Gruppen gibt, welche in größere Strukturen eingebettet sind und weitere, die tatsächlich so isoliert und kompakt sind, wie sie [HICKSON 1982] beschrieben hat.

5.5 Ermittelte Leuchtkraftfunktion

Leuchtkraftfunktionen werden in der Astronomie verwendet, um Aussagen über dunkle Galaxien von untersuchten Galaxiengruppen und Galaxienhaufen zu machen. Mit Hilfe der Funktion kann herausgefunden werden, ob alle dunklen Galaxien innerhalb der untersuchten Umgebung gefunden wurden, oder ob mit weiteren Galaxien in bestimmten Leuchtkraftintervallen zu rechnen ist. Die Ermittlung dieser Funktion geht auf [SCHECHTER 1976] zurück. Die dazugehörige Funktion ist Gleichung 4.8. Die von Schechter ermittelte Funktion für Leuchtkräfte lässt sich auch auf Magnituden umlegen (Gleichung 4.9). In dieser Form wurde sie in dieser Arbeit auch benutzt, um die Leuchtkraftfunktion für die sieben untersuchten kompakten Gruppen zu erstellen.

Die erhaltene Verteilung der Galaxien pro Magnituden (Abbildung 5.3, bzw. 4.6) besitzt eine sehr große Ähnlichkeit mit dem Ergebnis von [KRUSCH et al. 2003] (Abbildung 4.5). Das Plateau bis Magnitude $M_B = -17$ wird durch die Auswahlkriterien, die Hickson für kompakte Gruppen aufgestellt hat erklärt. Es ist anzunehmen, dass in diesem Bereich alle Galaxien gefunden wurden, die sich innerhalb des untersuchten Bereiches befinden. Der steile Anstieg danach markiert die gefundene Zwerggalaxienpopulation. Dieser Anstieg zeigt auch sehr deutlich die große Anzahl an dunkleren Objekten innerhalb der kompakten Gruppen, wie sie nach der CDM-Theorie auch zu erwarten sind. Der Abfall bei $M_B = -11$ mag wird dadurch erklärt, dass nur in zwei der sieben Gruppen einige wenige Galaxien gefunden wurden, die derart leuchtkraftschwach sind. Das bedeutet allerdings nicht, dass es innerhalb der untersuchten Gruppen keine Zwerggalaxien gibt, die derart dunkel sind, sondern dass hier das Detektionslimit der SLOAN erreicht ist. Es ist anzunehmen, dass auch in dem Bereich $-11 < M_B < -9$ mag noch ein Anstieg der Leuchtkraftfunktion zu erwarten ist.

Die Verteilung der Leuchtkräfte der Galaxien lässt sich in dieser Art nicht mit einer Schechter-Funktion darstellen, wie bereits auch [KRUSCH et al. 2003] feststellten. Vielmehr sind zwei unabhängige Funktionen - eine für das helle, und eine für das dunkle Ende - notwendig. Dies entspricht jedoch ganz und gar den Erwartungen, was darauf hin deutet, dass die Auswahlkriterien für die Galaxien korrekt waren und es sich bei den schließlich in das Sample aufgenommenen potentiellen Zwerggalaxien

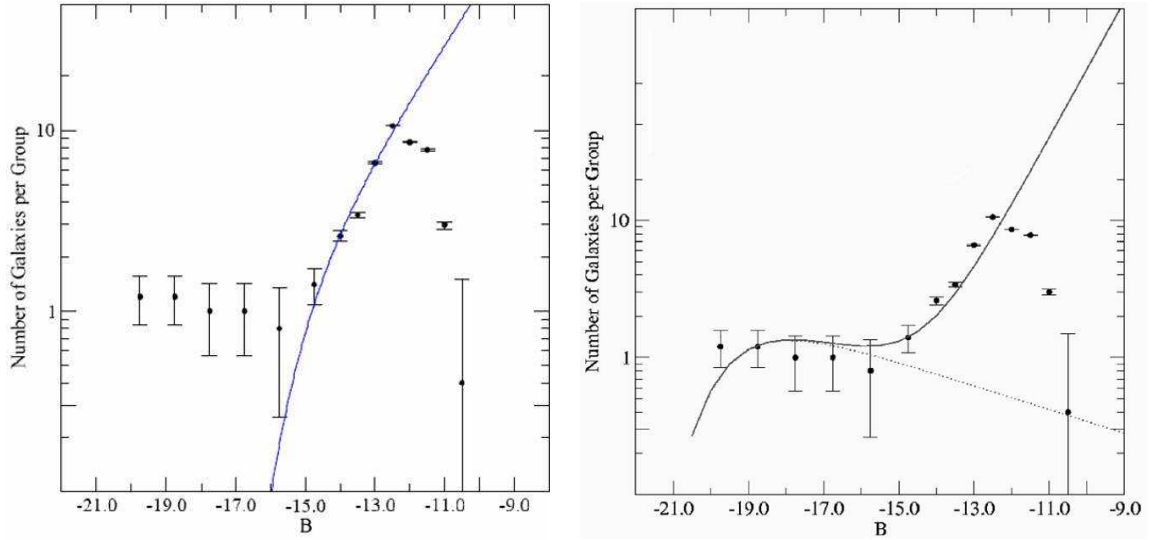


Abbildung 5.2: Die von Krusch et al. erhaltene Leuchtkraftfunktion, der fünf, von ihnen untersuchten kompakten Gruppen. Links: Die Schechter-Funktion für den schwachen Teil der Leuchtkraftverteilung. Die Funktion besitzt die Parameter $\alpha = -1.732$ und $M^* = -16$; Rechts: Die bimodale Schechter-Funktion für die von Krusch et al. untersuchten Gruppen. Die durchgehende Funktion ist dieselbe wie im Bild links. Die gepunktete Funktion gilt für die hellen Galaxien der Gruppen ([BOMANS et al. 2006], [KRUSCH et al. 2006])

auch wirklich um Mitglieder der einzelnen Gruppen handelt.

5.6 Massenabschätzung und Ausdehnung

Der letzte untersuchte Punkt in dieser Arbeit betraf die Ausdehnung der kompakten Gruppen. Über den Umweg der projizierten Masse, konnte der *zero velocity surface* Radius der Gruppen abgeschätzt werden. Die Ausdehnung der Gruppe könnte weitere Aufschlüsse dazu geben, ob es sich bei den kompakten Gruppen um isolierte Gruppierungen handelt oder nicht. Da für die Berechnung des Radius eine Radialgeschwindigkeit erforderlich war, welche von der SDSS jedoch nicht geliefert wird, wurde auf die NED-Datenbank zurückgegriffen. Alle Galaxien, die sich in einem Radius von 1 Mpc rund um das Gruppenzentrum befinden, sowie eine Radialgeschwindigkeit $\pm 500 \text{ km s}^{-1}$ von der Radialgeschwindigkeit der Gruppe aufwiesen, wurden für die Berechnung herangezogen. Die gefundenen Galaxien sind in Anhang E gelistet.

Die projizierte Masse wurde mit der Formel 4.12 berechnet. Diese wiederum wurde in Formel 4.13 eingesetzt, um den *zero-surface-velocity* Radius R_0 zu berechnen. Die Ergebnisse, sowie der größte anzunehmende Fehler von 20% sind in Tabelle 4.4 zusammengefasst. Eine kurze Zusammenfassung, ohne Auflistung der angenommenen Fehler, bietet aber auch Tabelle 5.2.

Die ermittelten Massen befinden sich, mit Ausnahme von HCG059, alle im Bereich $\sim 10^{12} - 12^{13} M_{\odot}$. Damit befinden sich sechs der sieben untersuchten kompakten

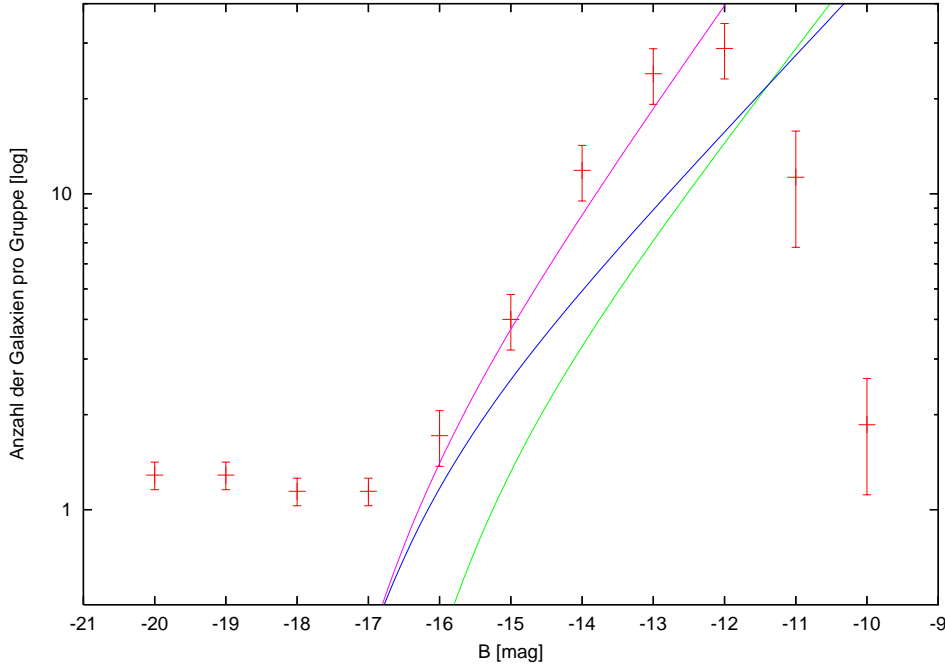


Abbildung 5.3: Die Anzahl der Galaxien pro Gruppe und Magnitudenintervall. Die Leuchtkraftfunktionen stellen Funktionen mit den folgenden Parametern dar: $\alpha = -1.8$, $M^* = -17$ (rosa); $\alpha = -1.6$, $M^* = -17$ (blau); $\alpha = -1.74$, $M^* = -16$ (grün). Die rosa Funktion entspricht der für die hier untersuchten Galaxiengruppen Funktion. Die grüne Funktion gib die Ergebnisse von [KRUSCH et al. 2003] wieder.

Gruppen im Massebereich von offenen Galaxiengruppen, der mit $10^{12} - 10^{14}$ angenommen wird [HEINÄMÄKI et al. 2003]. Selbst in Anbetracht der großen Unsicherheiten bestätigen diese Werte die bisherigen Annahmen, dass kompakte Gruppen nur Substrukturen von offenen Gruppen sind. Insofern ist HCG059 mit seiner geringen Masse herausragend. Wie bereits weiter oben erwähnt, unterstützt dies die Möglichkeit, dass es innerhalb der kompakten Gruppen auch echte isolierte Systeme gibt. Zumal HCG059 auch bei der Dichteverteilung der Zwerggalaxien einen eher

Tabelle 5.2: Die projizierte Masse und der *zero velocity surface* Radius der sieben Gruppen des Samples.

HCG	M_{PM} [M_{\odot}]	R_0 [kpc]
007	$\sim 1.1 \times 10^{13}$	~ 2007
025	$\sim 7.2 \times 10^{12}$	~ 1726
037	$\sim 6.4 \times 10^{13}$	~ 3567
058	$\sim 2.7 \times 10^{13}$	~ 2688
059	$\sim 5.2 \times 10^{10}$	~ 1405
079	$\sim 3.5 \times 10^{13}$	~ 2945
088	$\sim 2.0 \times 10^{12}$	~ 1135

isolierten Charakter aufwies. Aufgrund der relativ hohen Geschwindigkeitsdispersion der Gruppe von 190.5 km s^{-1} kann jedoch auch nicht ausgeschlossen werden, dass es sich bei dieser Gruppe um eine transiente Konfiguration von fünf Feldgalaxien handelt.

Die, nach der Methode von [SANDAGE 1986] berechneten *zero-surface-velocity* Radien, korrelieren mit den zuvor berechneten Massen. Die Radien der Gruppen liegen zwischen $\sim 1.1 - 3.5 \text{ Mpc}$. Damit besitzen sie sehr viel größere Radien als [HICKSON et al. 1992] angegeben hat. Er gab einen Gruppenradius von $\sim 300 \text{ kpc}$ an. Die so berechnete Ausdehnung der kompakten Gruppen bringt ähnliche Ergebnisse wie sie [KRUSCH et al. 2003] geliefert haben. Jedoch bietet dieses Sample keine so hohe Bandbreite. Krusch et al. berechneten Radien zwischen $\sim 1.6 - 4.7 \text{ Mpc}$. Auch bei der Betrachtung der Radien drängt sich der Verdacht auf, dass es zwei unterschiedliche Arten von kompakten Gruppen - isolierte und eingebettete - zu geben scheint. HCG025, HCG059 und HCG088 verfügen alle über sehr kleine Radien, von weniger als 1 Mpc , wohingegen die restlichen Gruppen ausgedehntere Strukturen zu sein scheinen. Interessanterweise ist dabei auch das kompakte Seyfert Sextet HCG079 recht groß.

Sowohl die Ergebnisse zur Masse als auch zum Radius können natürlich aufgrund der wenigen zur Verfügung stehenden Galaxien mit gemessener Geschwindigkeitsdispersion (zwischen 6 und 32) und der großen Unsicherheiten bei der Berechnung der projizierten Masse in Frage gestellt werden. Jedoch wird eine Ausdehnung in dieser Größe bei kompakten Gruppen durch numerische Simulationen vorhergesagt und zur Erklärung ihrer Existenz schlicht auch teilweise benötigt. Wie bereits im ersten Kapitel beschrieben, erscheint es unwahrscheinlich, dass wir so viele kompakte Gruppen im Universum sehen, beträgt ihre Lebenszeit doch nur wenige *crossing*-Zeitskalen. Daher wird schon lange nach einer Erklärung für dieses Phänomen gesucht. Neben der Möglichkeit, dass kompakte Gruppen oft nur Projektionseffekte oder transiente Konfigurationen sind - was durch die Messung der Rotverschiebung und der Geschwindigkeiten für viele Gruppen widerlegt wurde -, wurde auch die Theorie aufgestellt, dass immer weitere Galaxien aus der Umgebung in die kompakte Gruppe fallen, und sie so am Leben erhalten [HICKSON 1999]. Dies würde eine größere Anzahl gebundener Galaxien in der Nachbarschaft der kompakten Gruppe voraussetzen. Numerische Simulationen sagten, um eine rasche Bildung von riesigen elliptischen Galaxien aus kompakten Gruppen zu verhindern, die Existenz eines massereichen Halos aus Dunkler Materie voraus. Diese These wurde bereits durch zahlreiche Untersuchungen in anderen Wellenlängen bestätigt. Vor allem Untersuchungen des Röntgengases zeigten, dass dieses viel ausgedehnter als die Kernregion der kompakten Gruppe ist.

Kapitel 6

Ausblick

Trotzdem sich viele Astronomen schon seit langer Zeit mit den kompakten Gruppen befassen, sind immer noch viele grundsätzliche Fragen zu diesen Strukturen offen. Diesen Fragen mit Hilfe der Untersuchung der leuchtkraftschwachen Mitglieder der Gruppen, den Zwerggalaxien, auf den Grund zu gehen, ist eine Möglichkeit Antworten zu erhalten.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass es eine ausgedehnte Zwerggalaxienpopulation gibt, die sich weit über das Zentrum der eigentlichen kompakten Gruppe hinaus erstreckt. Diese Ergebnisse werden durch Berechnungen der Masse und des *zero-velocity-surface* Radius mit Hilfe von Angaben aus der NED-Datenbank und durch die Arbeit von [KRUSCH et al. 2003] bestätigt. Damit scheint es relativ sicher zu sein, dass zumindest ein Großteil der kompakten Galaxiengruppen in größere Strukturen, wie offenen Gruppen, eingebettet sind. Ergebnisse zur Gruppe HCG059 zeigen jedoch, dass es durchaus auch echte kompakte Gruppen zu geben scheint.

Die erhaltenen Ergebnisse zur Morphologie der Zwerggalaxien sind zum Teil widersprüchlich mit denen von anderen Arbeiten. Sie widersprechen den Ergebnissen von [KRUSCH et al. 2003], die eine sehr viel größere Anzahl an dE-Galaxien diagnostizierte, stimmen jedoch mit der von [HUNSBERGER et al. 2000] überein, der zahlreiche Gezeitenzwerge in den von ihm untersuchten kompakten Gruppen gefunden hat. Jedoch ist die in dieser Arbeit verwendete morphologische Bestimmung nicht wirklich eindeutig und die Qualität der Daten der SDSS sind für eine sichere Bestimmung auch nur bedingt geeignet.

Weitere Untersuchungen zu kompakten Gruppen und deren Platz in der Struktur des Universums sind daher notwendig. Weitere N-Körper-Simulationen könnten helfen die Masse und die Ausdehnung der Gruppen genauer zu bestimmen. Vor allem aber wird es notwendig sein die Zwerggalaxienpopulation in einem großen Umkreis von der Gruppe mit Hilfe eines Großteleskops zu erfassen und bestenfalls auch noch spektroskopisch zu bestimmen. Mit Hilfe von Spektren wäre es möglich mehr über die stellaren Populationen der einzelnen Zwerggalaxien zu erfahren, sowie Informationen zu ihrem Alter und ihrer Metallizität zu erhalten. Dies würde zudem die Unsicherheiten bezüglich der Morphologie der Zwerggalaxien reduzieren und auch mehr über die Ausdehnung der Gruppen zu erfahren. Schlussendlich wäre es auch möglich Aussagen über die mittlere Entwicklung von Zwerggalaxien in kompakten Gruppen zu machen, sobald Informationen aus verschiedenen Gruppen vorliegen.

Aufgrund der erhaltenen Ergebnisse ist auch eine weitere weiträumige Untersuchung der Gruppen mit Hilfe der SDSS-Daten möglich. Mit Hilfe dieser Datenbank könnte ein Anzahlldichteprofil der Gruppen auf Entfernungen bis zu den errechneten Radien hin erstellt werden. Dies würde zeigen, ob sich auch in diesem Bereich noch weitere Zwerggalaxien finden lassen, oder nicht.

Anhang A

Farben-Helligkeits-Diagramme

Weiter unten sind die Farben-Helligkeitsdiagramme (FHDs) der einzelnen Gruppen gelistet. Die Farben und Magnituden für das u'g'r'i'z'-System stammen direkt aus der Datenbank der SDSS, da diese geringere Fehler aufwiesen, als jene, welche mittels SExtractor bestimmt werden konnten. Zur Umrechnung in das Johnson-Cousin-System wurde die Formel 3.1 von [SMITH et al. 2002] verwendet. Die gestrichelten Linien innerhalb der B-R gegen R Diagramme markieren die Rotsequenz, sowie deren 1σ Fehler, nach der Bestimmung von [SECKER et al. 1997]. Die dazugehörige Gleichung ist Formel 4.1.

Die oberen beiden Diagramme für jede Gruppe zeigt alle gefundenen Galaxien innerhalb des untersuchten Bereiches. Dabei wurden nur die von Hickson gefundenen Gruppenmitglieder durch rote Fünfecke hervorgehoben.

Die unteren beiden Diagramme zeigen nur mehr jene Galaxien, welche den Auswahlprozess, der in Kapitel 4 dargelegt wird, überstanden haben. Wieder wurden die von Hickson gefundenen Gruppenmitglieder durch rote Fünfecke dargestellt. Galaxien, deren Zugehörigkeit zur Gruppe durch ein Spektrum aus der SDSS bestimmt wurde, sind durch ein Dreieck dargestellt. Galaxien, für welche ein Sérsic-Pprofil erstellt werden konnte, werden durch ein auf dem Kopf stehendes Dreieck repräsentiert. Die restlichen Galaxien verdanken ihrer Aufnahme in das Sample hauptsächlich der photometrischen Rotverschiebung und sind als kleine Quadrate dargestellt.

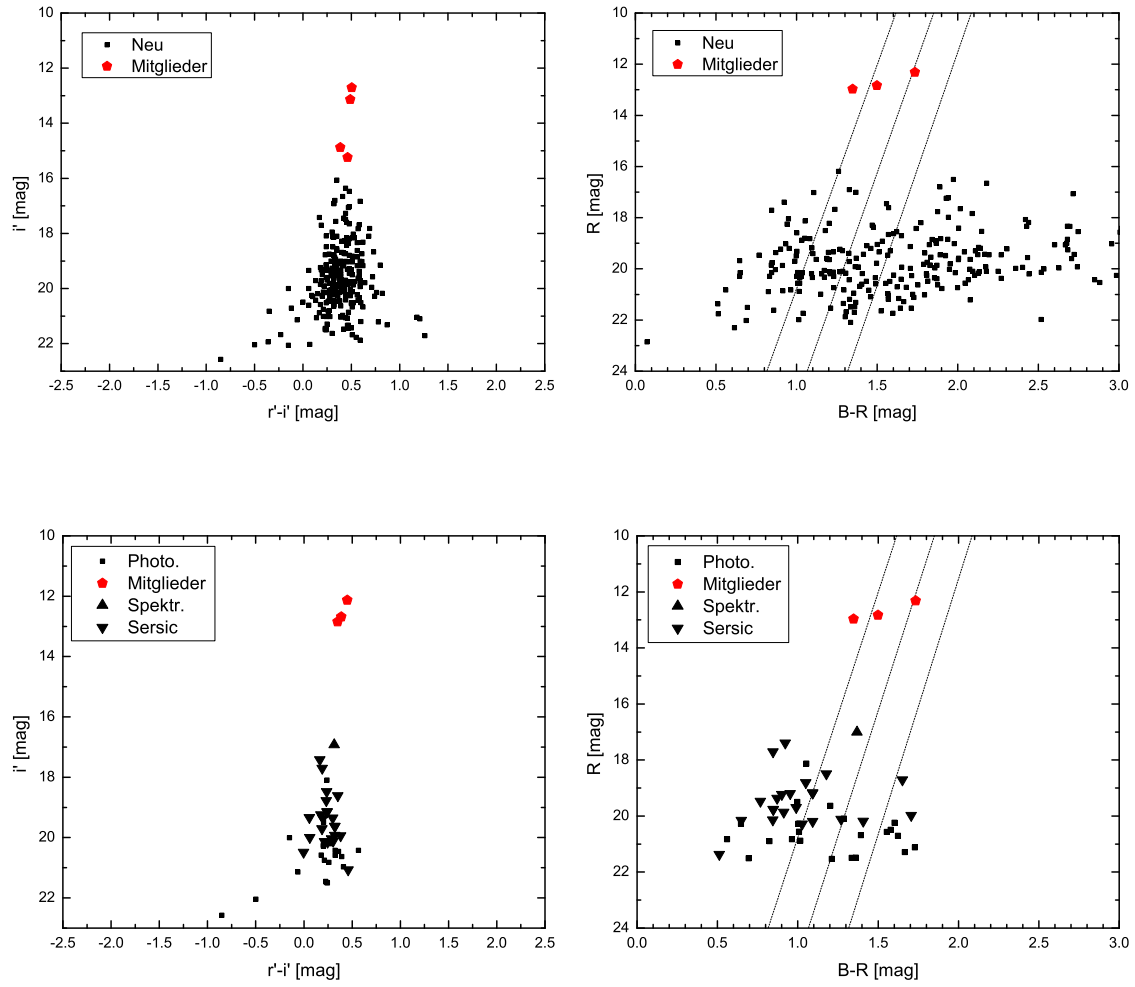


Abbildung A.1: FHDs von HCG 007

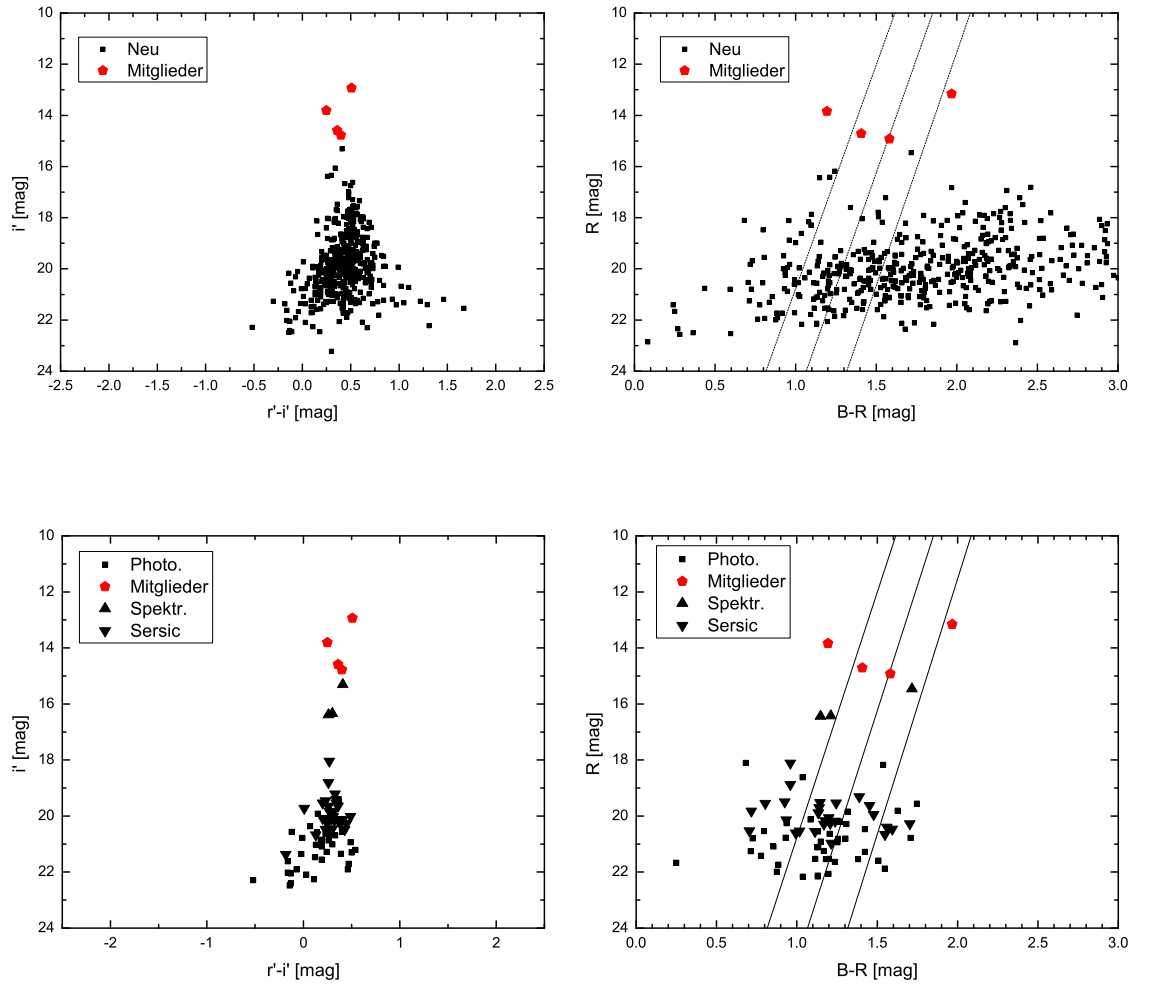


Abbildung A.2: FHDs von HCG 025

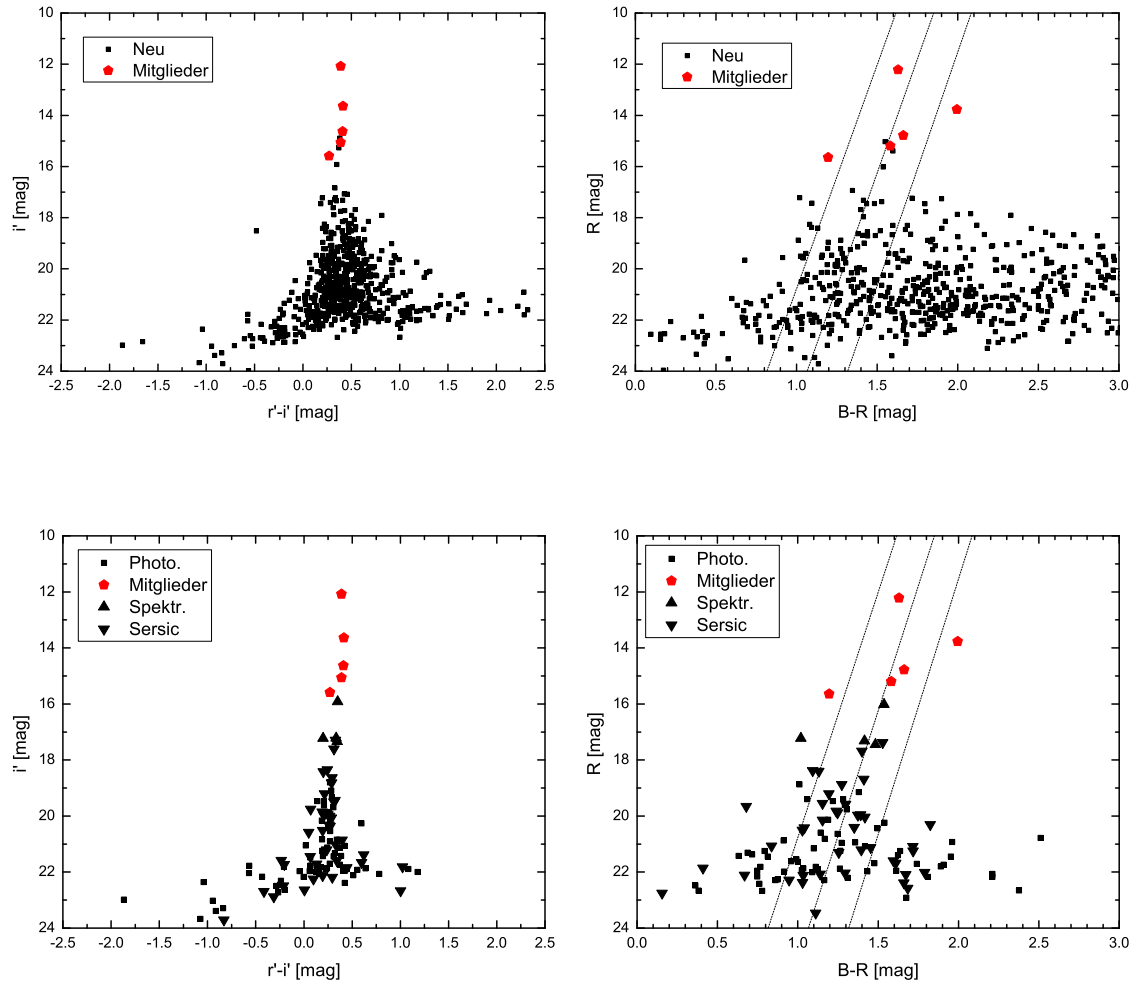


Abbildung A.3: FHDs von HCG 037

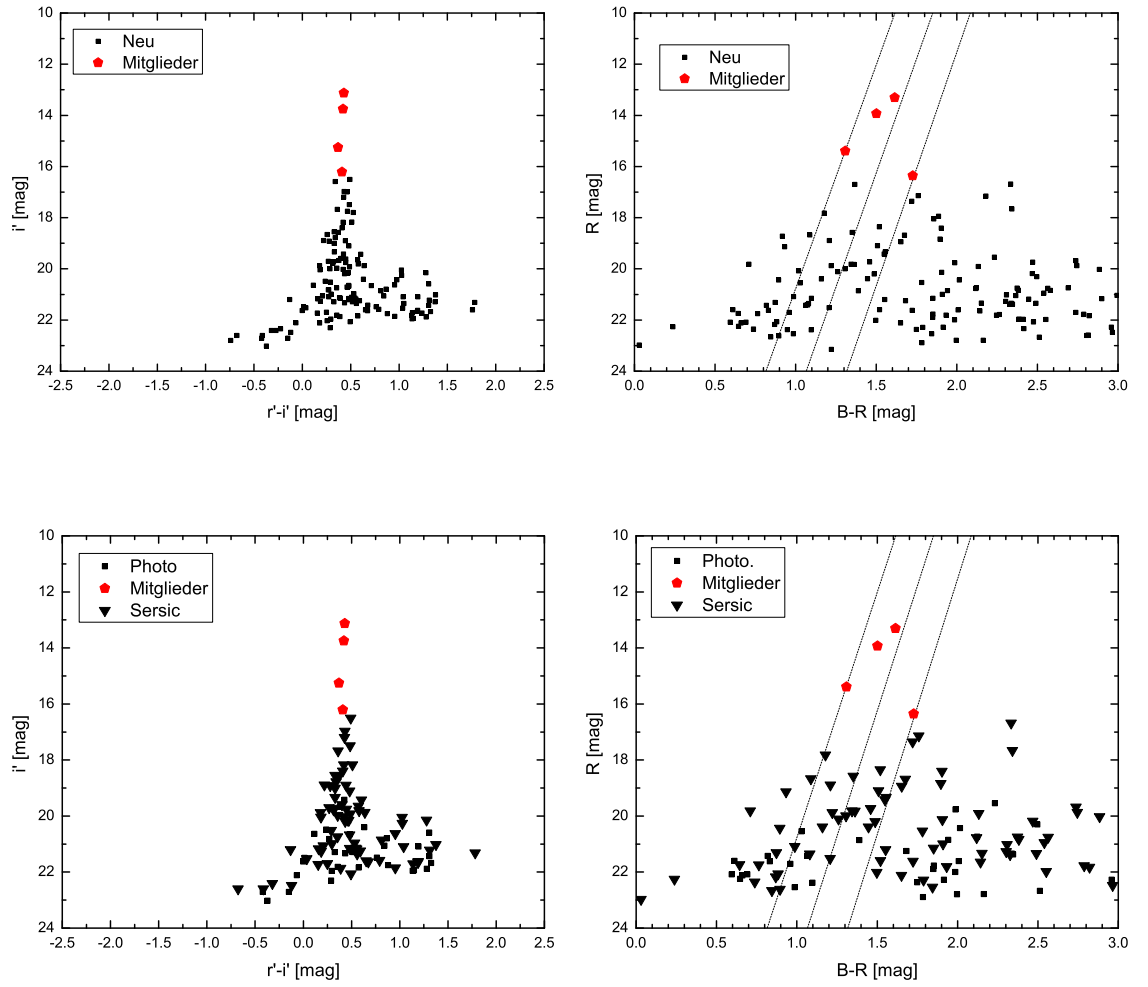


Abbildung A.4: FHDs von HCG 041

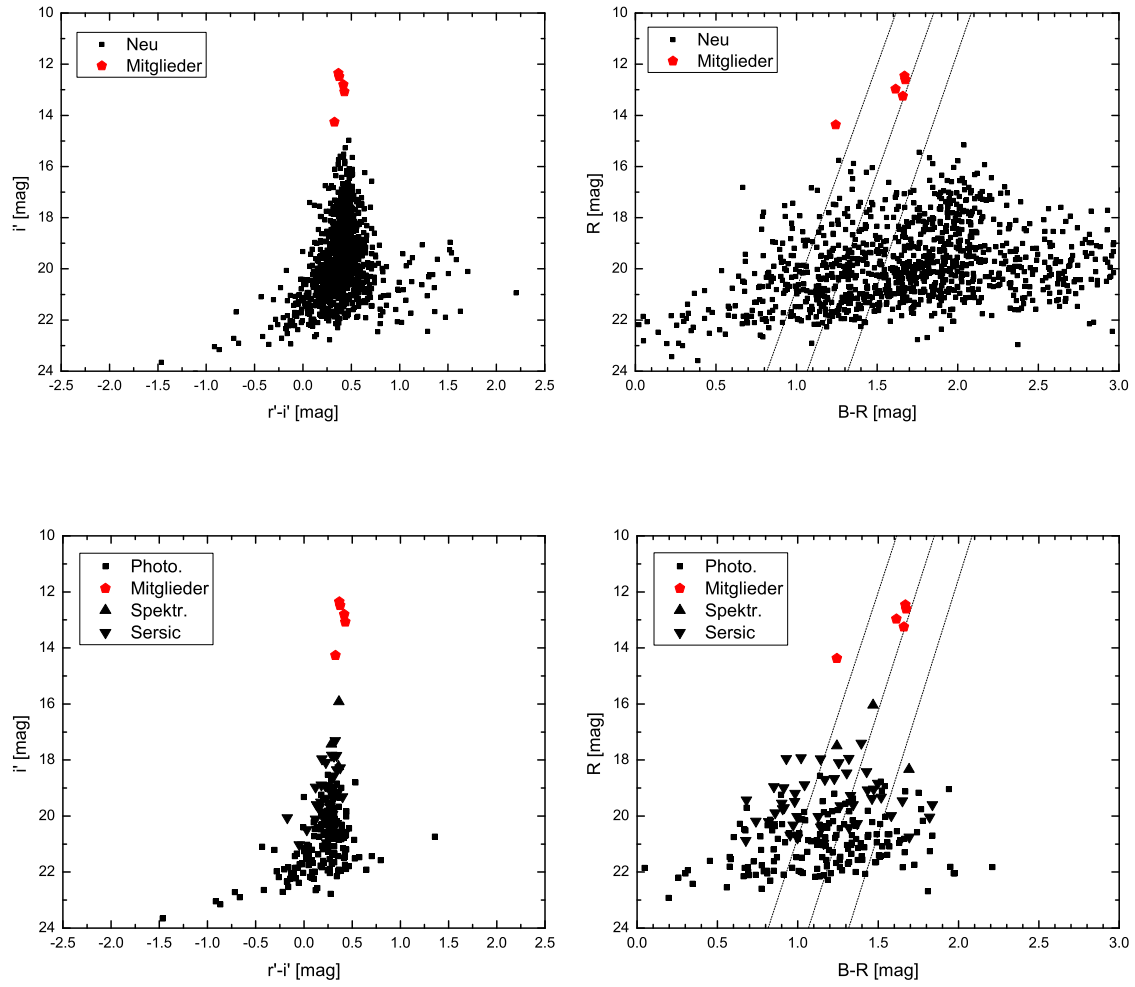


Abbildung A.5: FHDs von HCG 058

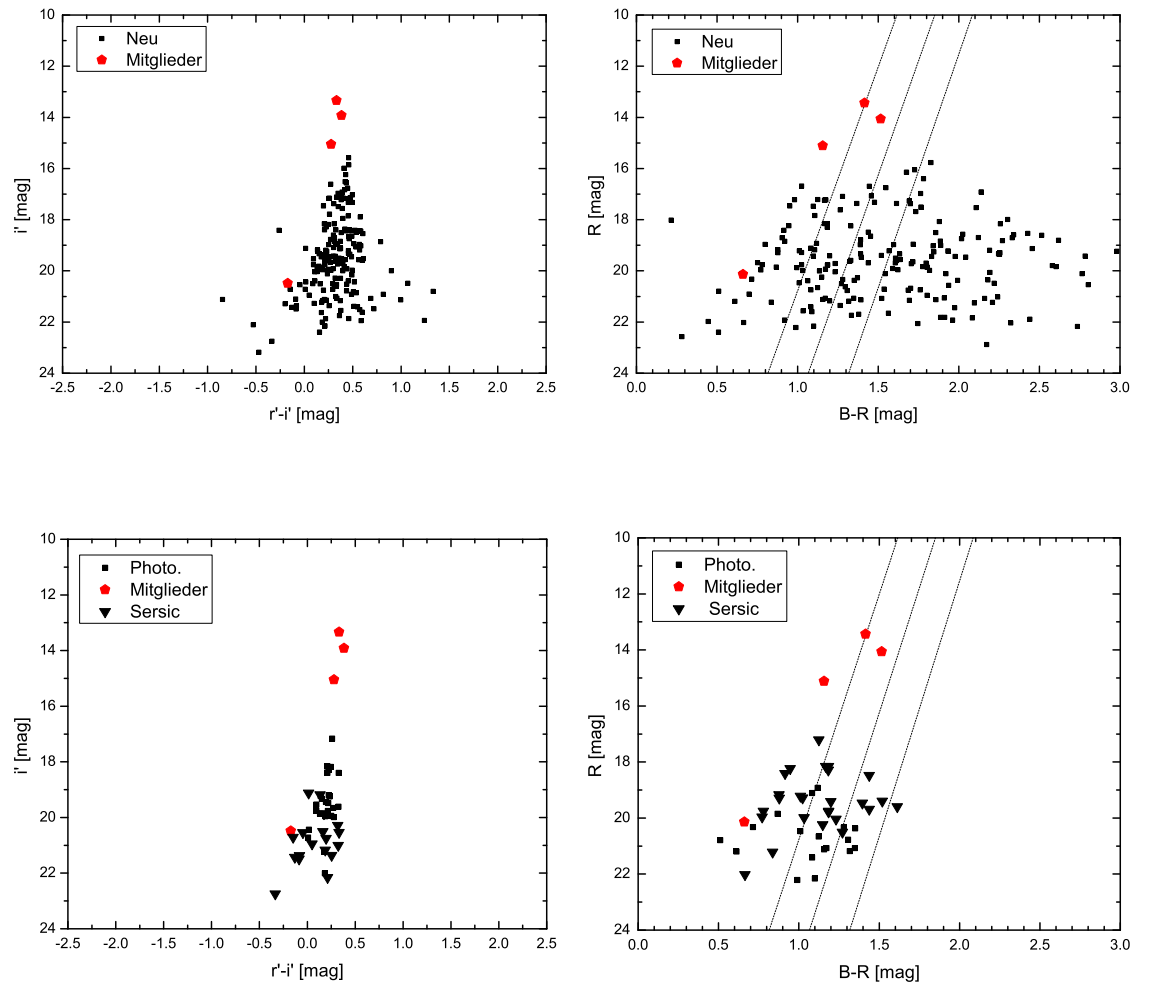


Abbildung A.6: FHDs von HCG 059

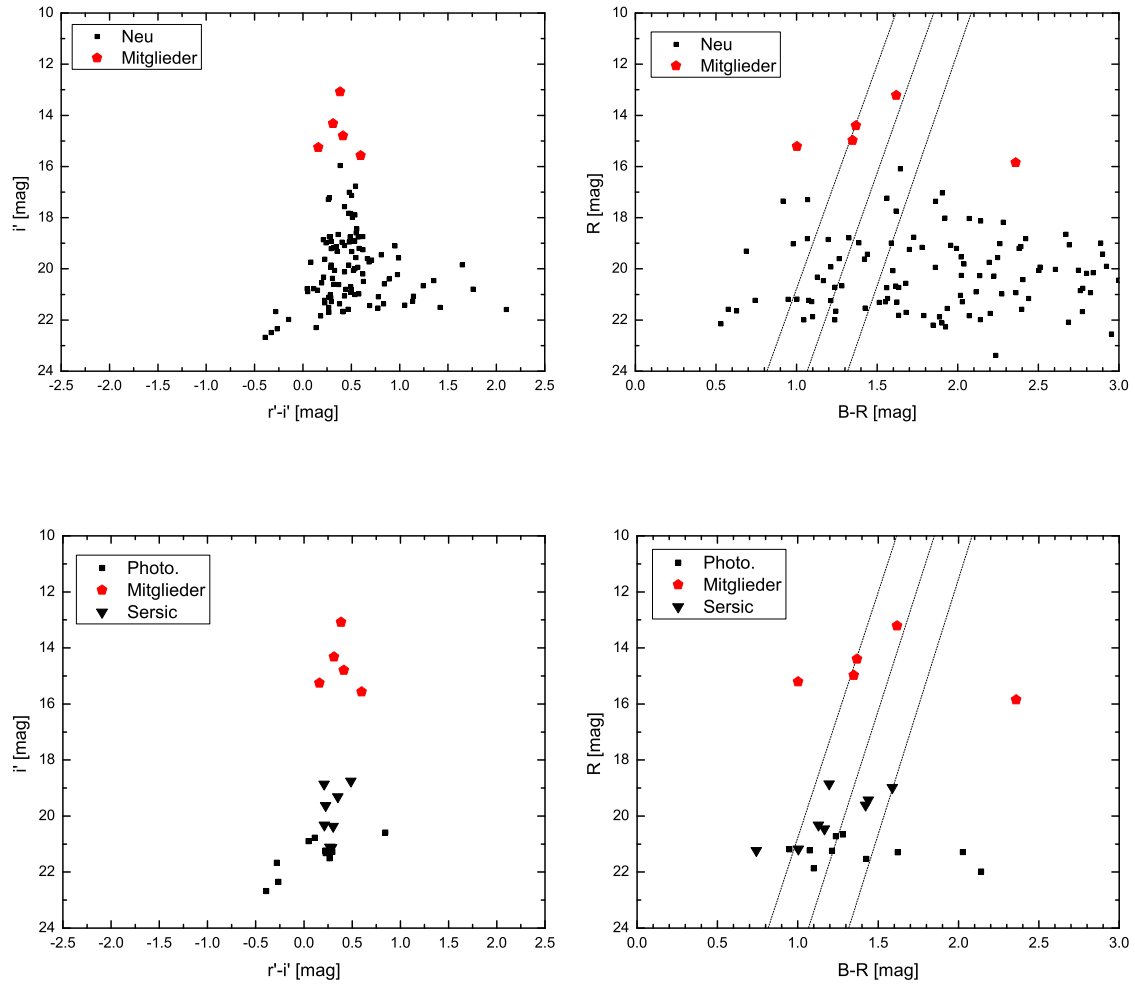


Abbildung A.7: FHDs von HCG 079

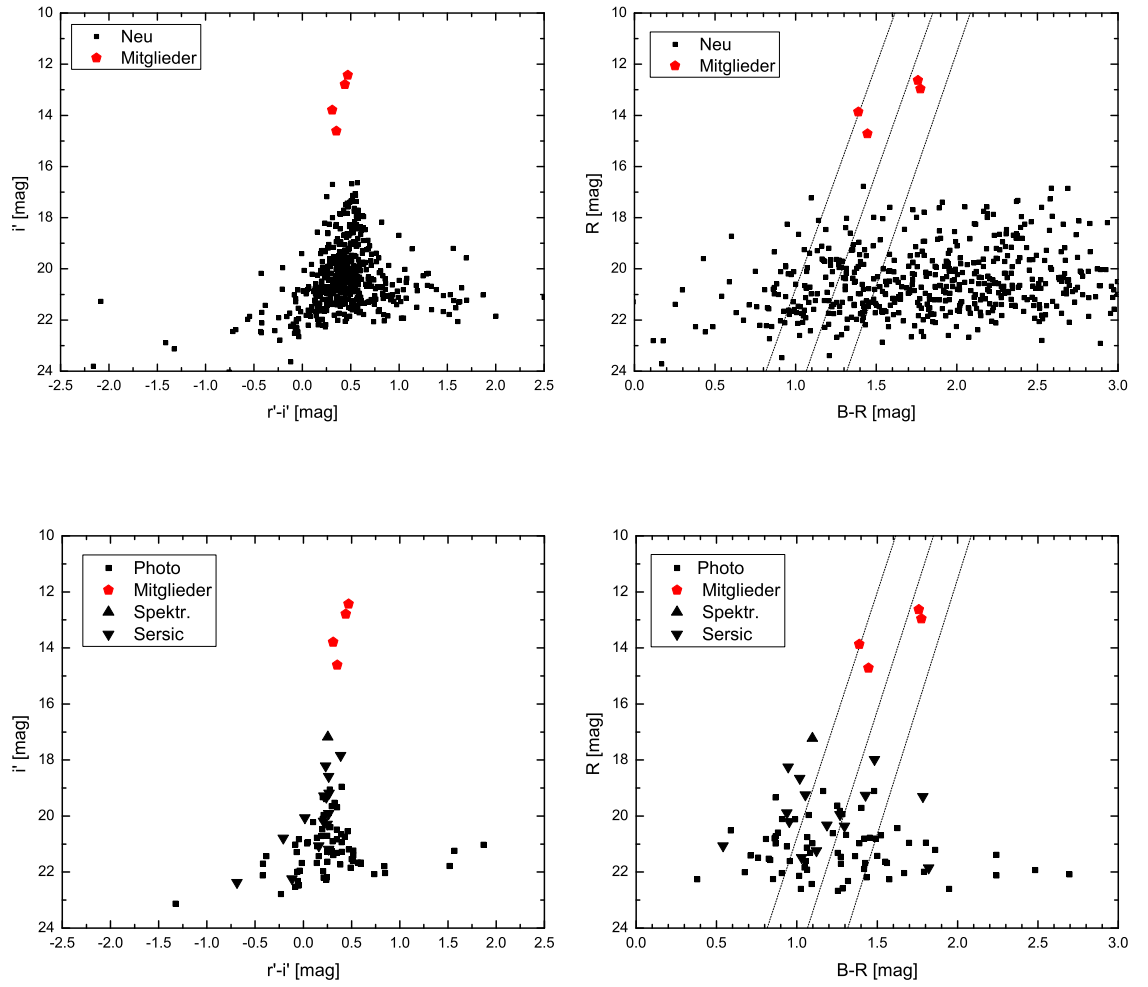


Abbildung A.8: FHDs von HCG 088

Anhang B

Räumliche Verteilung der Zwerggalaxien

Weiter unten befinden sich Diagramme, welche die Lage der neu gefundenen Galaxien auf dem Nachthimmel im Bezug zu den bereits von Hickson identifizierten Gruppenmitgliedern aufzeigen. Sowohl Rektaszension als auch Deklination wurden, weil die Koordinaten zu den Objekten auch innerhalb der SDSS so abgespeichert werden, in Grad angegeben.

Das obere Diagramm zu jeder Galaxie zeigt alle gefundenen Galaxien innerhalb des untersuchten Bereiches. Die von Hickson identifizierten Gruppemitglieder wurden dabei als rote Fünfecke hervorgehoben. Alle anderen Galaxien wurden als einfache Quadrate dargestellt.

Die beiden unteren Diagramme zeigen nur mehr jene Galaxien, welche den Auswahlprozess in Kapitel 4 überstanden haben. In beiden Diagrammen werden die ursprünglichen Gruppenmitglieder durch rote Fünfecke dargestellt. Die linken Diagramme verwenden dieselbe Symbolik wie die Farben-Helligkeitsdiagramme in Anhang A und zeigen die Lage jener Galaxien, welche über ein Spektrum verfügen, für welche ein Sérsic-Parameter mit < 2 berechnet werden konnte, sowie jene Galaxien, die nur aufgrund ihrer photometrischen Rotverschiebung in das Sample aufgenommen wurden. Dreiecke stellen dabei spektroskopisch erfasste Gruppenmitglieder dar, verkehrte Dreiecke Galaxien mit einem entsprechenden Sérsic-Profil und die durch photometrische Rotverschiebung detektierten neuen Gruppenmitglieder durch schwarze Quadrate. Die rechten Diagramme zeigen die Lage der unterschiedlichen Typen von Zwerggalaxien. Zur morphologischen Bestimmung wurde dabei nur die von [SECKER et al. 1997] berechnete Rotsequenz herangezogen. Galaxien innerhalb der Rotsequenz (Zwergelliptische) wurden in dem Diagramm als Kreise dargestellt. Blaue Galaxien (Zwergirreguläre) als Rhomben und rote Galaxien (Hintergrundobjekte) als schwarze Quadrate.

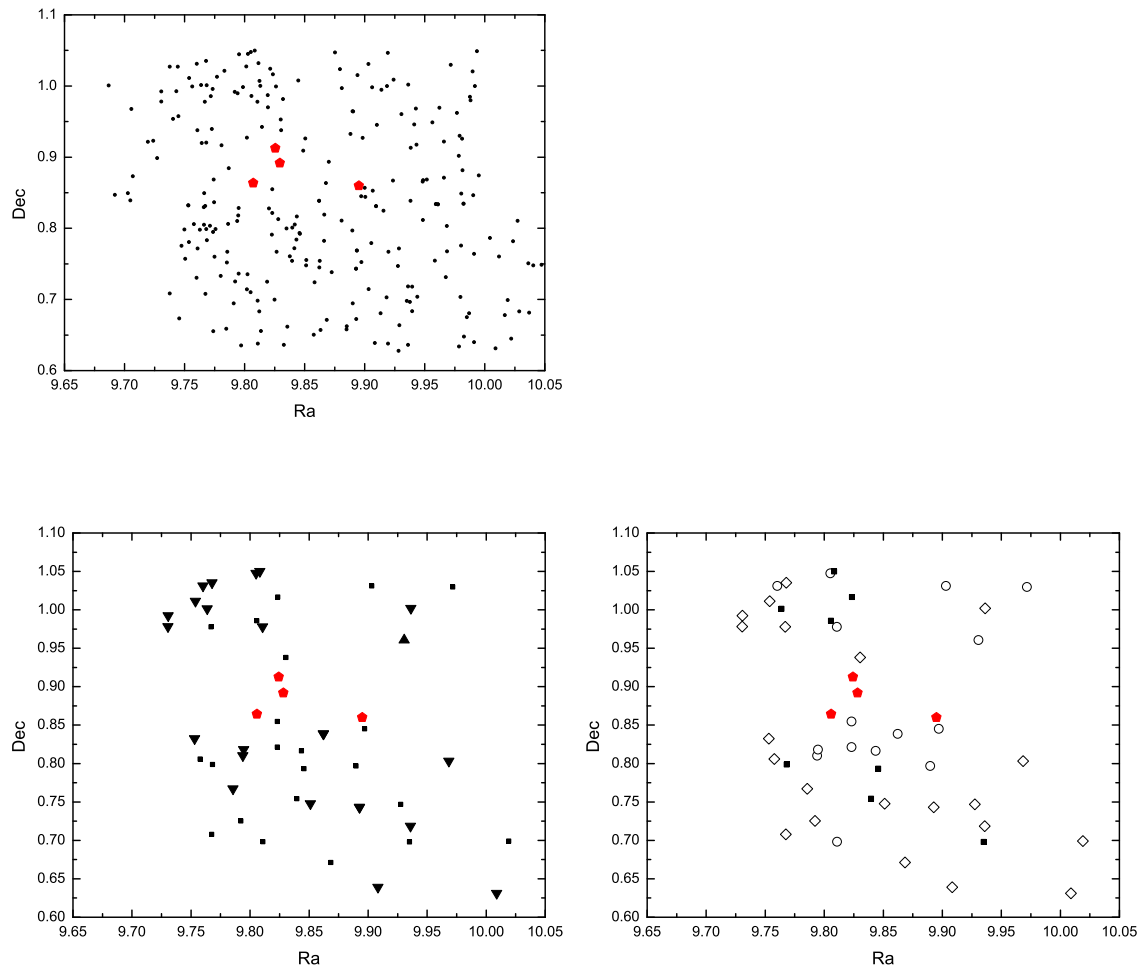


Abbildung B.1: Räumliche Verteilung der Zwerggalaxien rund um HCG007

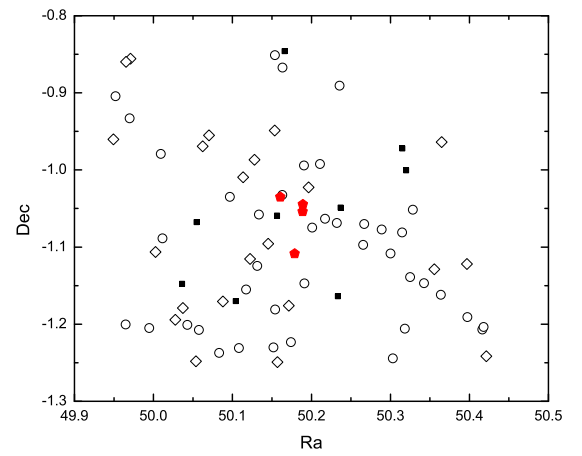
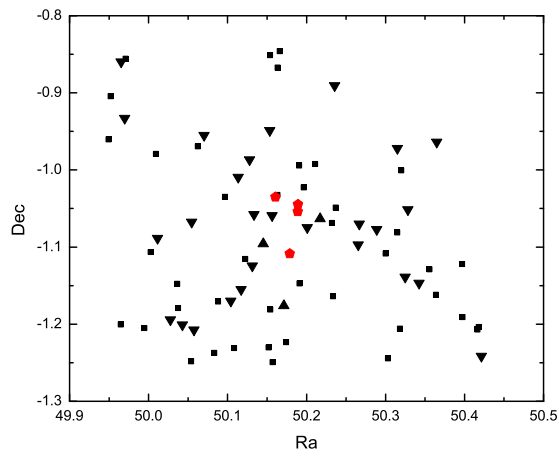
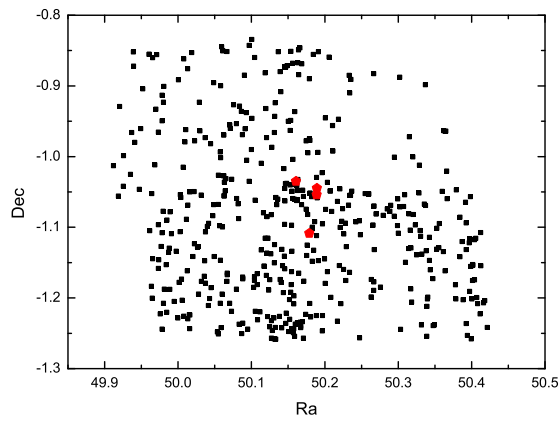


Abbildung B.2: Räumliche Verteilung der Zwerggalaxien rund um HCG025

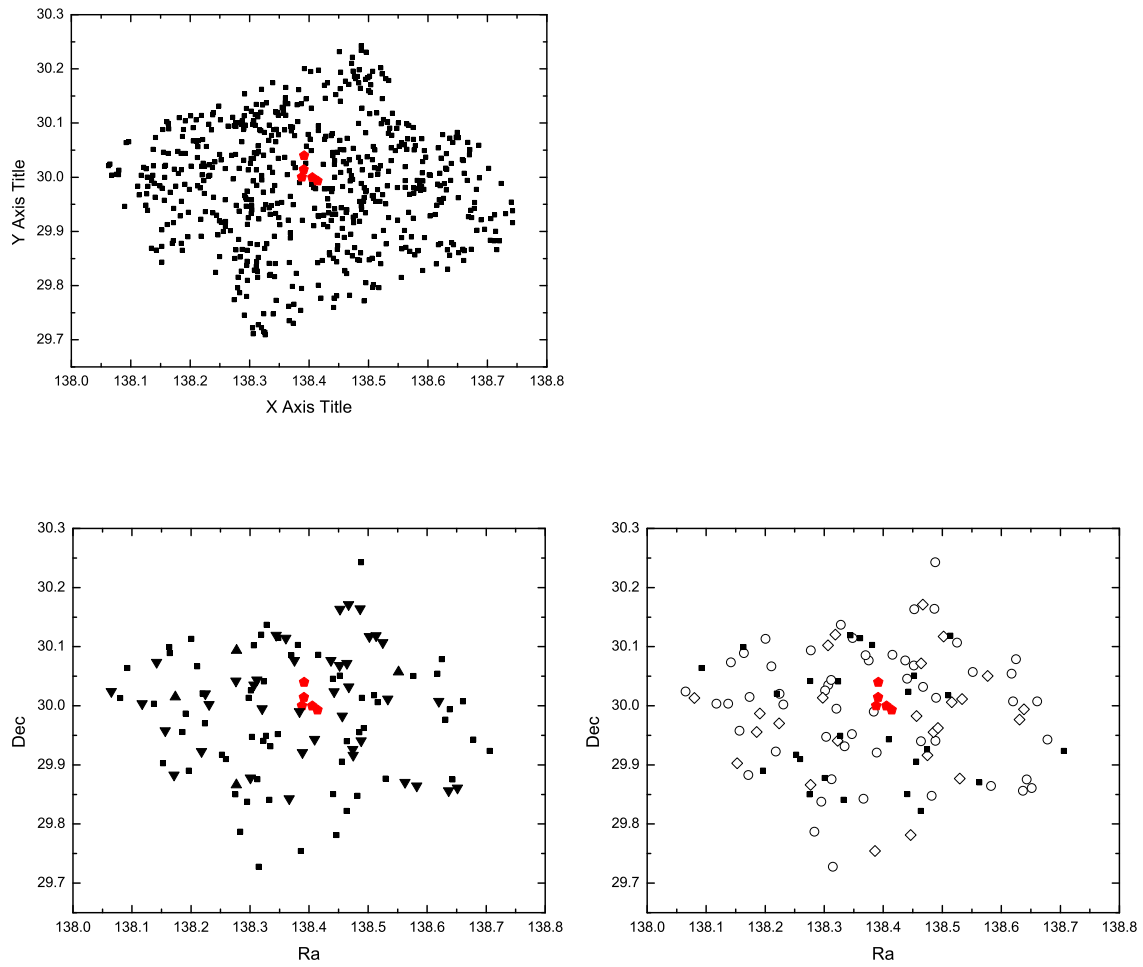


Abbildung B.3: Räumliche Verteilung der Zwerggalaxien rund um HCG037

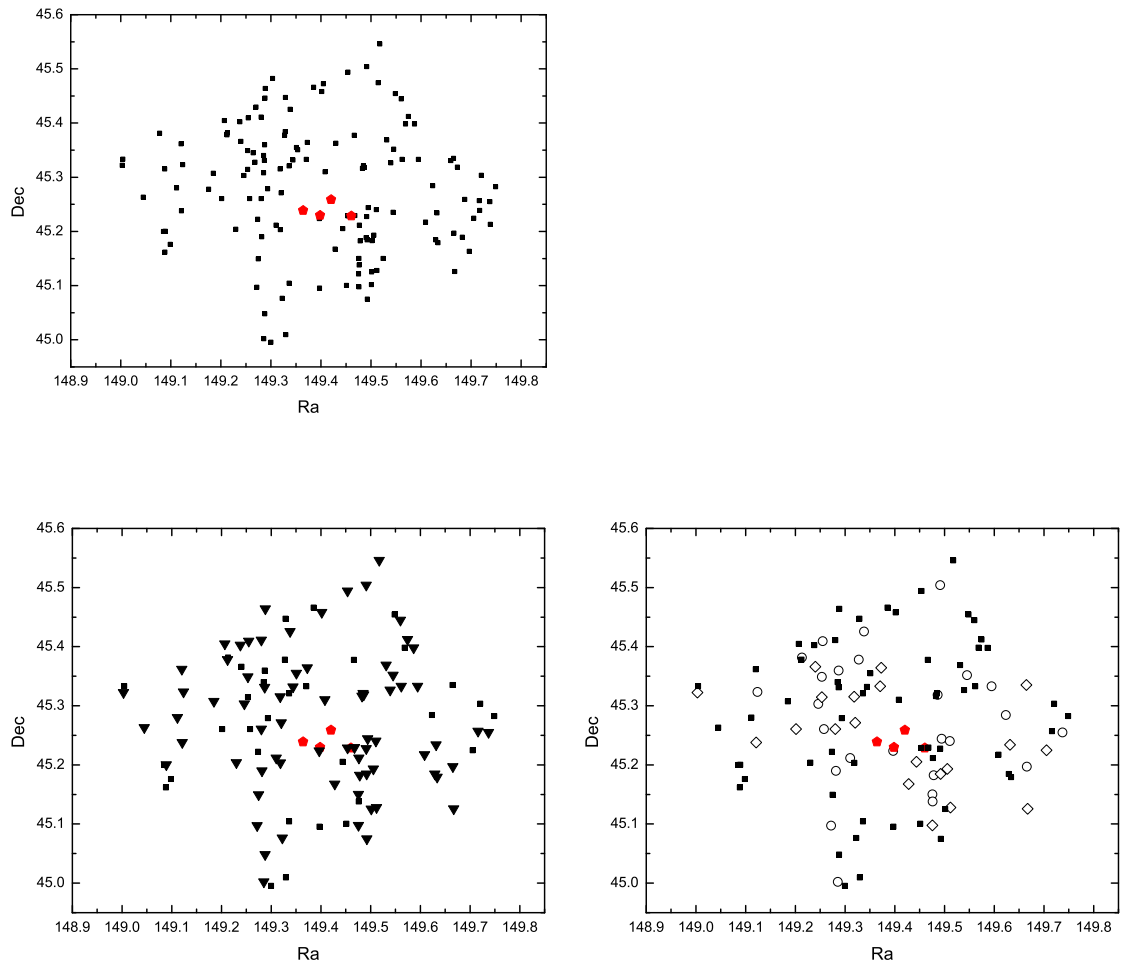


Abbildung B.4: Räumliche Verteilung der Zwerggalaxien rund um HCG041

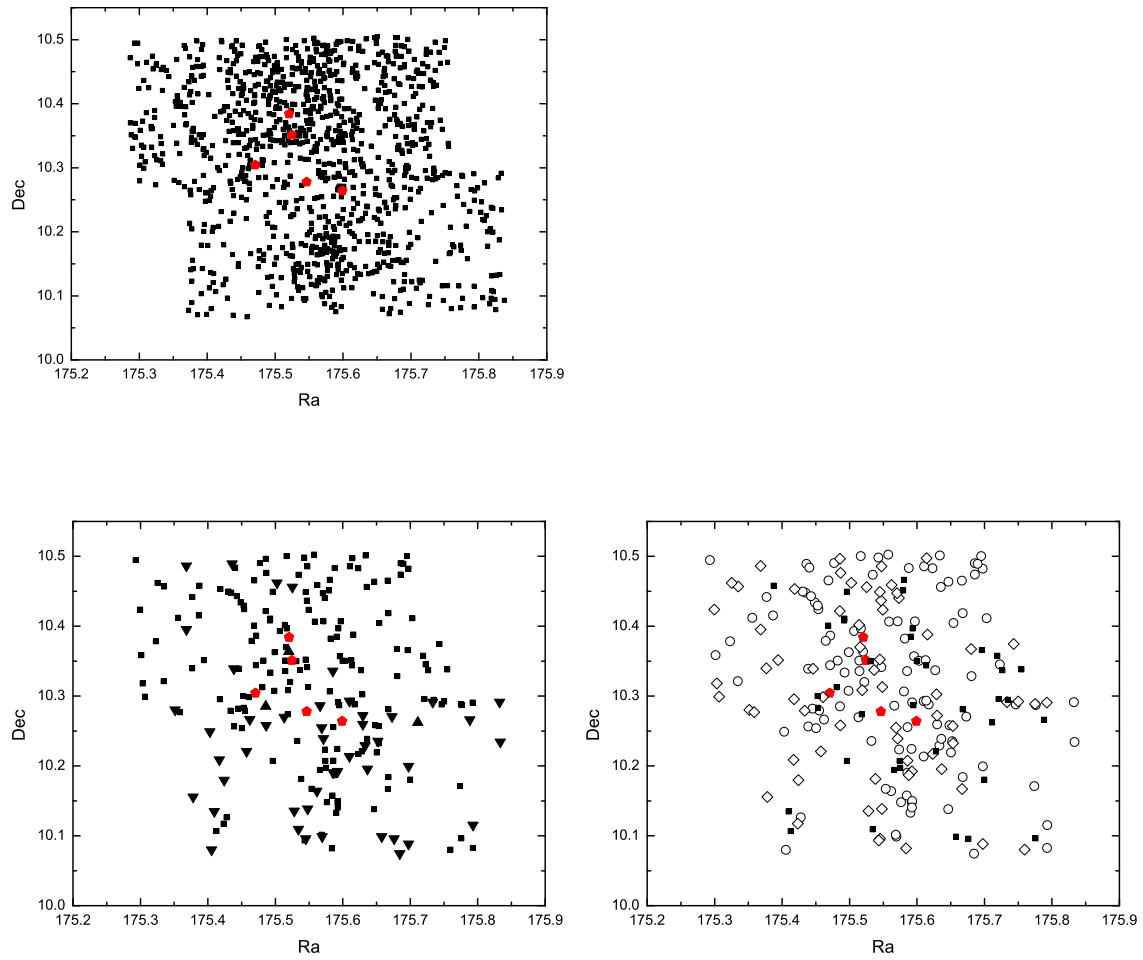


Abbildung B.5: Räumliche Verteilung der Zwerggalaxien rund um HCG058

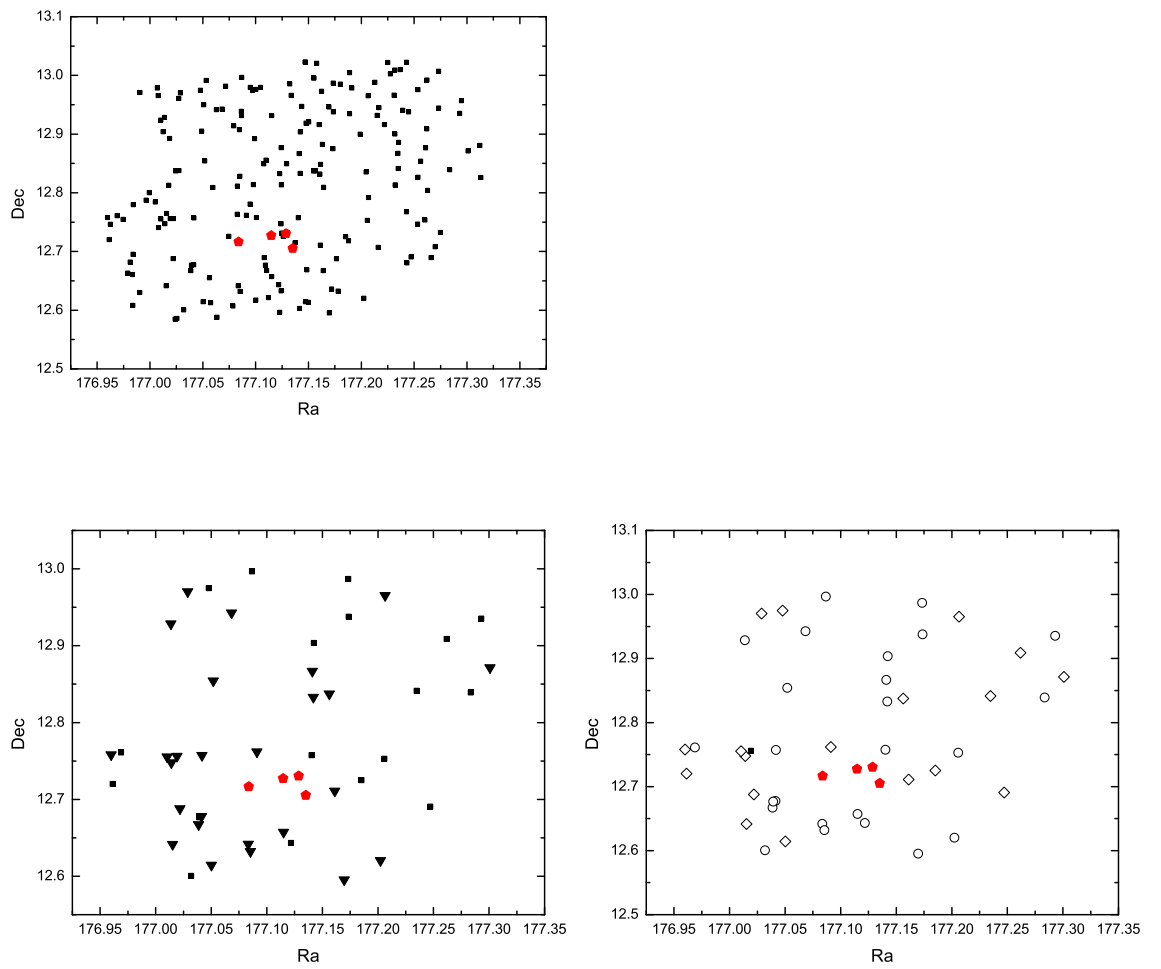


Abbildung B.6: Räumliche Verteilung der Zwerggalaxien rund um HCG059

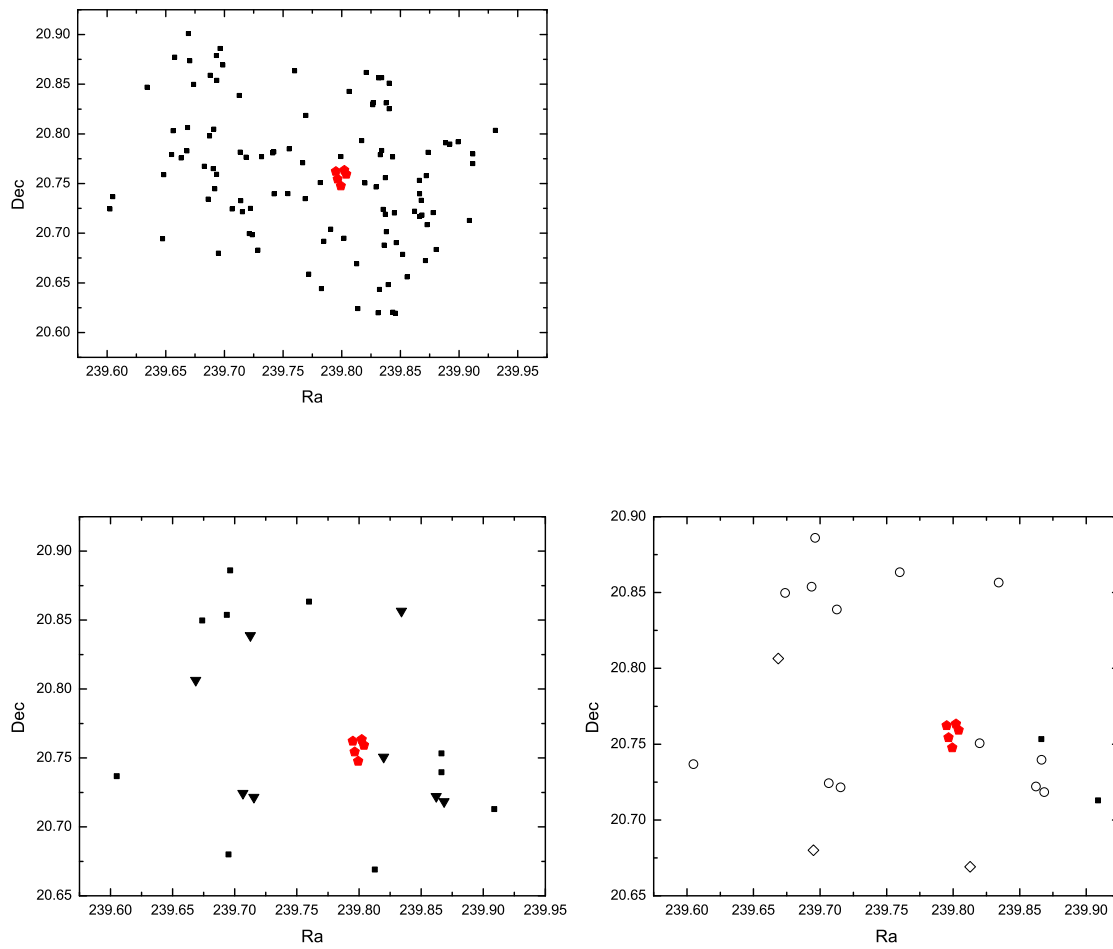


Abbildung B.7: Räumliche Verteilung der Zwerggalaxien rund um HCG079

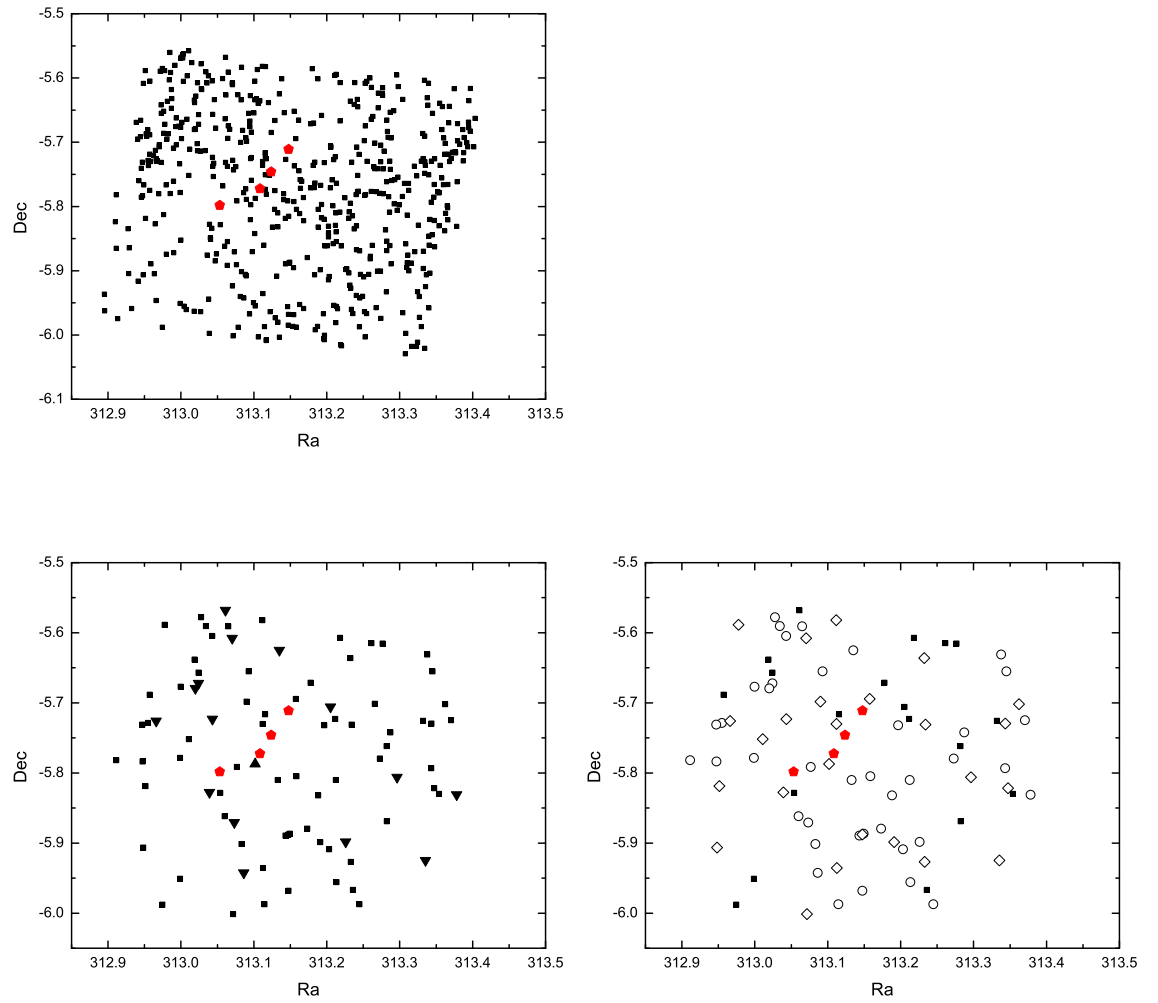


Abbildung B.8: Räumliche Verteilung der Zwerggalaxien rund um HCG088

Anhang C

Entfernung der Zwerggalaxien von den Gruppen

Hier sind die Anzahl der Galaxien in den untersuchten Himmelsabschnitten gegen die Entfernung vom jeweiligen Gruppenzentrum dargestellt. Die x-Achse zeigt dabei die Entfernung vom Zentrum der kompakten Galaxiengruppe, normiert auf $h = 75 \text{ km s}^{-1}$, mit einem Binning von $50 h^{-1} \text{ kpc}$. Die y-Achse gibt dabei die Anzahl der Galaxien pro Flächeneinheit des innersten Ringes wieder.

Bei allen Gruppen, mit Ausnahme von HCG041 (Abbildung C.8) findet sich links oben die Entfernung gegen die Anzahl der dE-Galaxien und rechts oben die Entfernung gegen die dIrr. Das linke mittlere Bild zeigt den Abstand der von Hickson identifizierten Gruppenmitglieder vom Gruppenzentrum. Das rechte mittlere Bild schließlich zeigt die Aufsummierung der Zwergelliptischen und Zwergirregulären Galaxien, wobei die dE-Galaxien noch einmal hervorgehoben wurden. Das unterste Bild schließlich stellt den Abstand vom Zentrum all jener Objekte dar, welche zwar als Galaxien identifiziert, jedoch als Nicht-Gruppenmitglieder bestimmt wurden.

Für HCG041 wurden, da es sich bei dieser Gruppe nur um einen Projektionseffekt handelt, nur zwei der fünf Diagramme erstellt, welche in Abbildung C.8 zu sehen sind. Bei diesen Diagrammen handelt es sich um die Entfernung der projizierten Mitglieder vom Zentrum (linkes Diagramm), ausgehend von einer Entfernung von 56 Mpc, und die Darstellung aller gefundenen Galaxien im untersuchten Bereich.

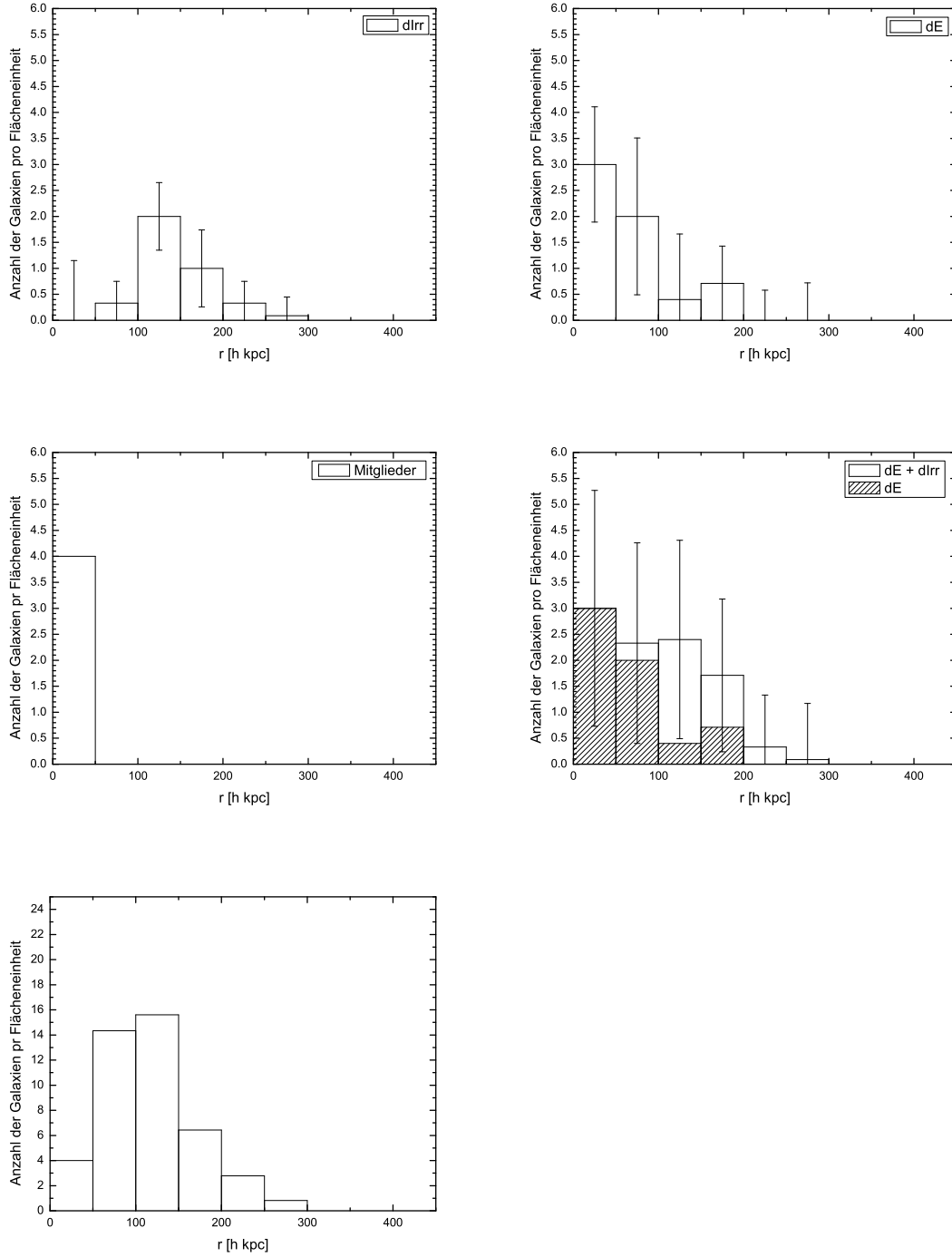


Abbildung C.1: Entfernung der Galaxienpopulation vom Zentrum der Gruppe HCG007

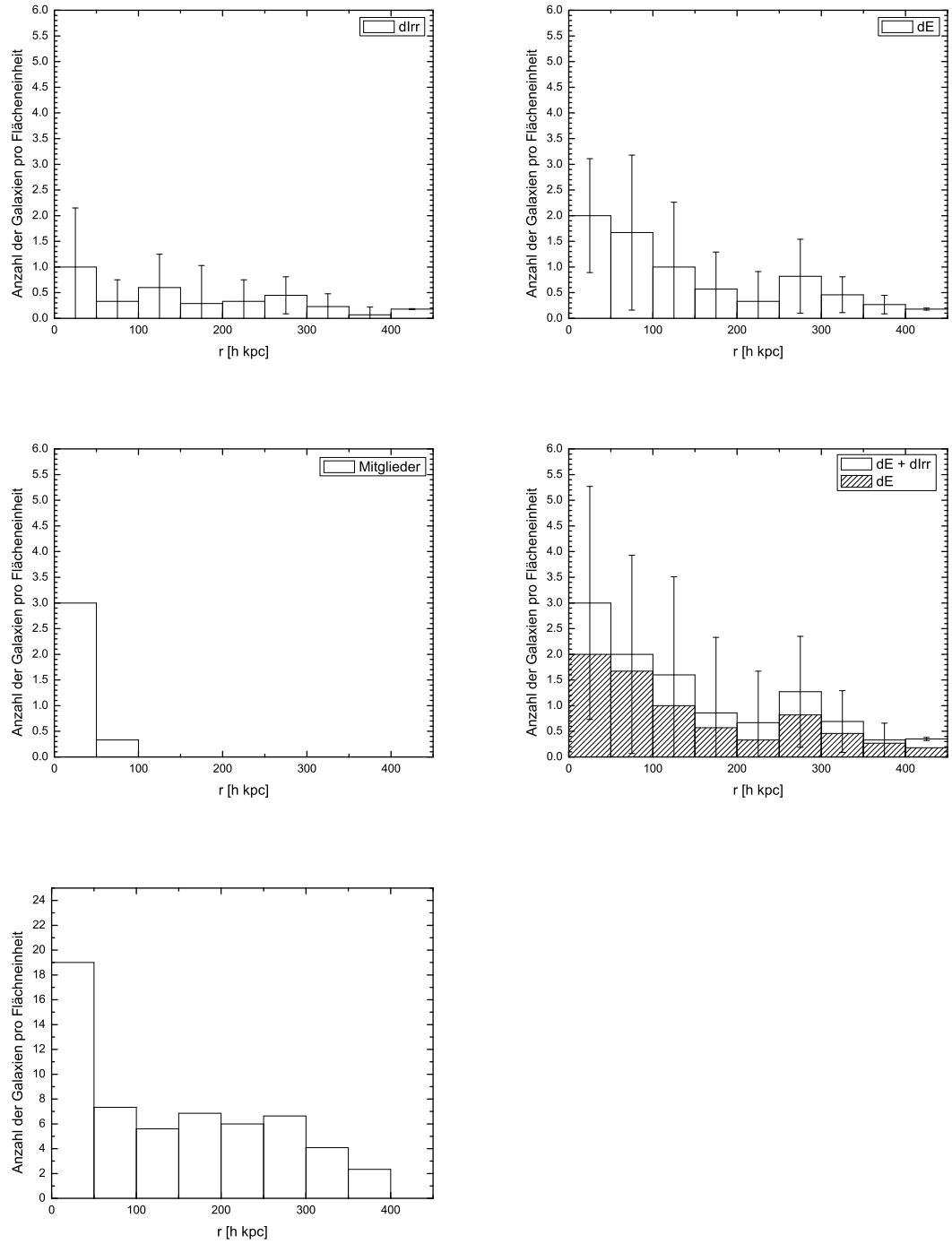


Abbildung C.2: Entfernung der Galaxienpopulation vom Zentrum der Gruppe HCG025

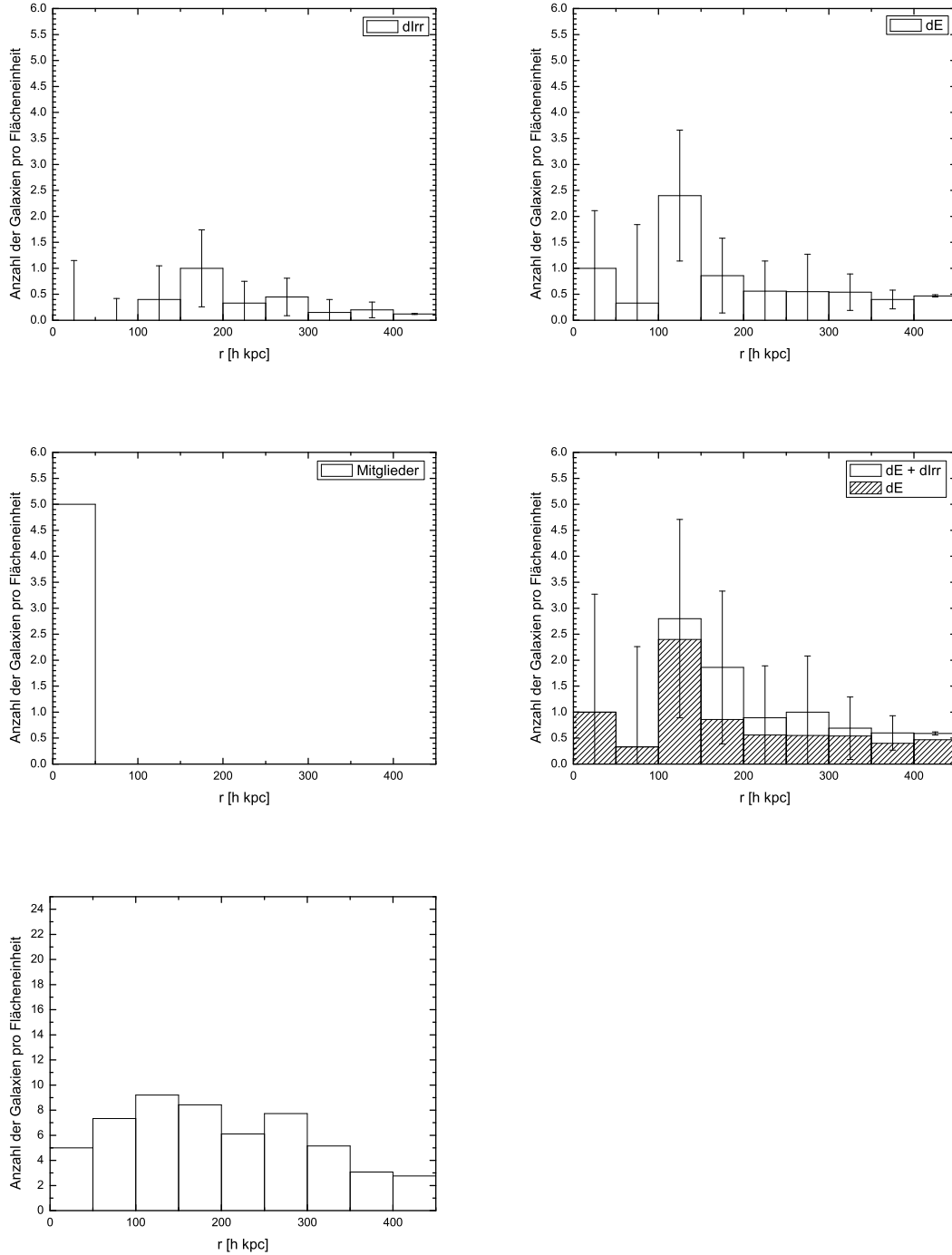


Abbildung C.3: Entfernung der Galaxienpopulation vom Zentrum der Gruppe HCG037

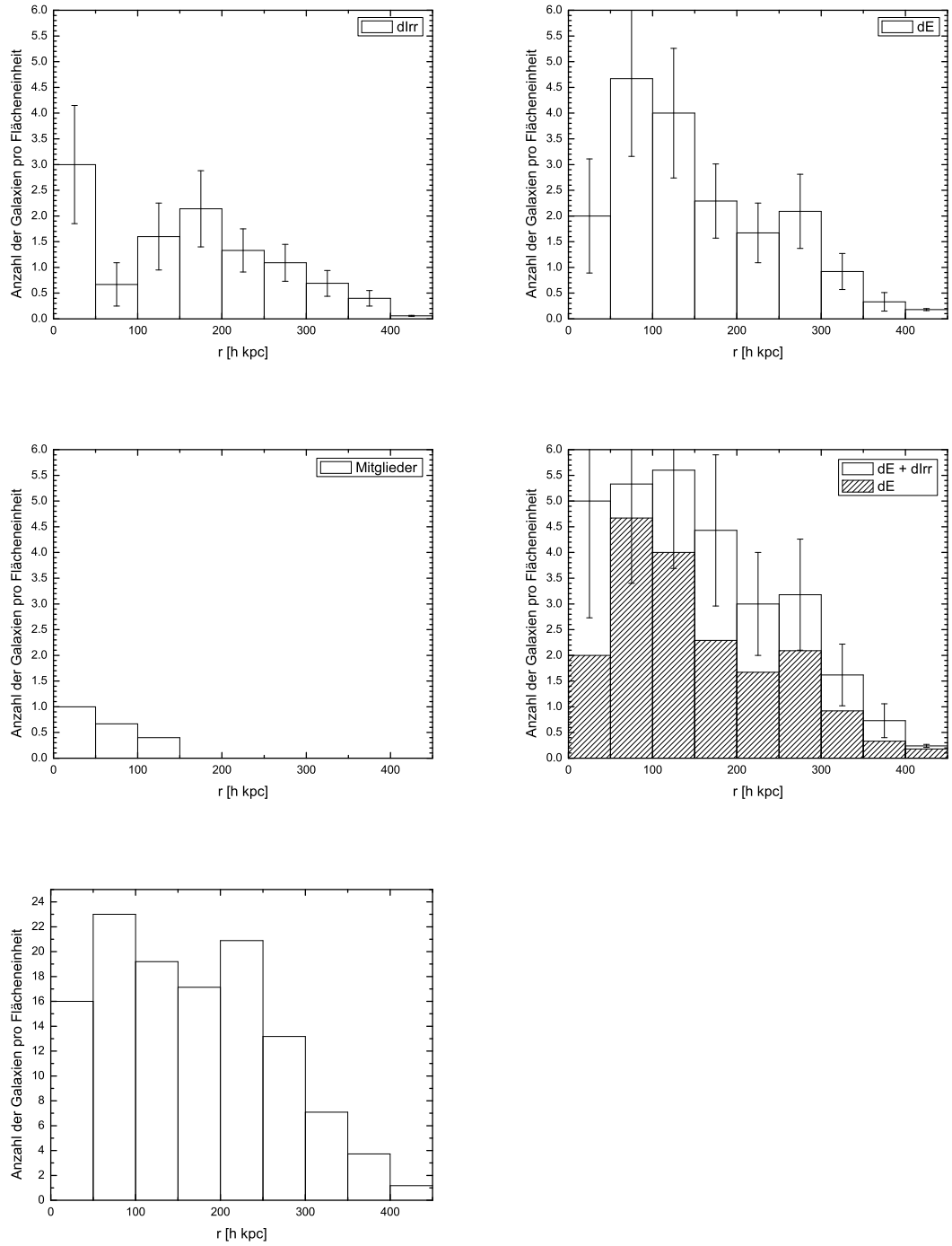


Abbildung C.4: Entfernung der Galaxienpopulation vom Zentrum der Gruppe HCG058

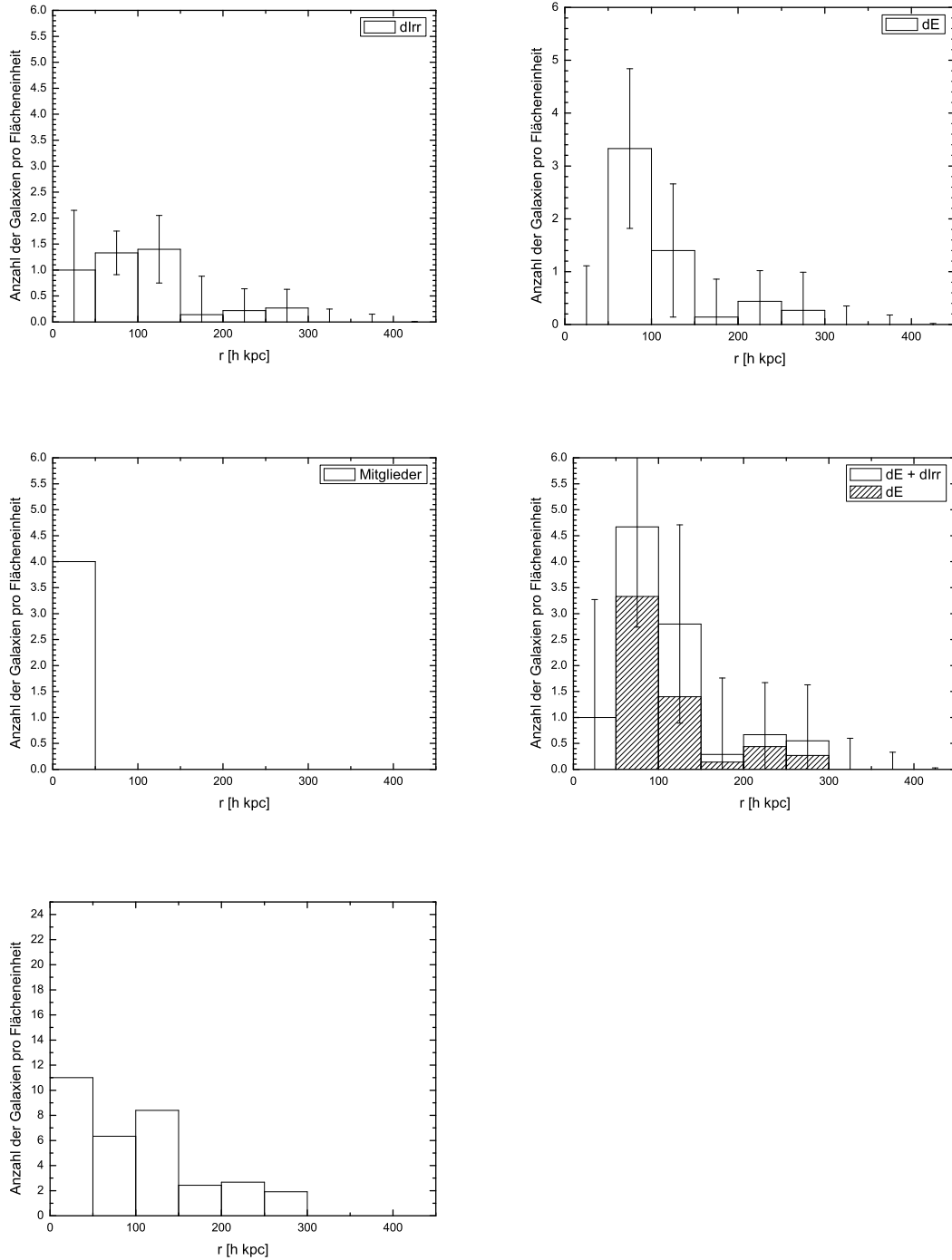


Abbildung C.5: Entfernung der Galaxienpopulation vom Zentrum der Gruppe HCG059

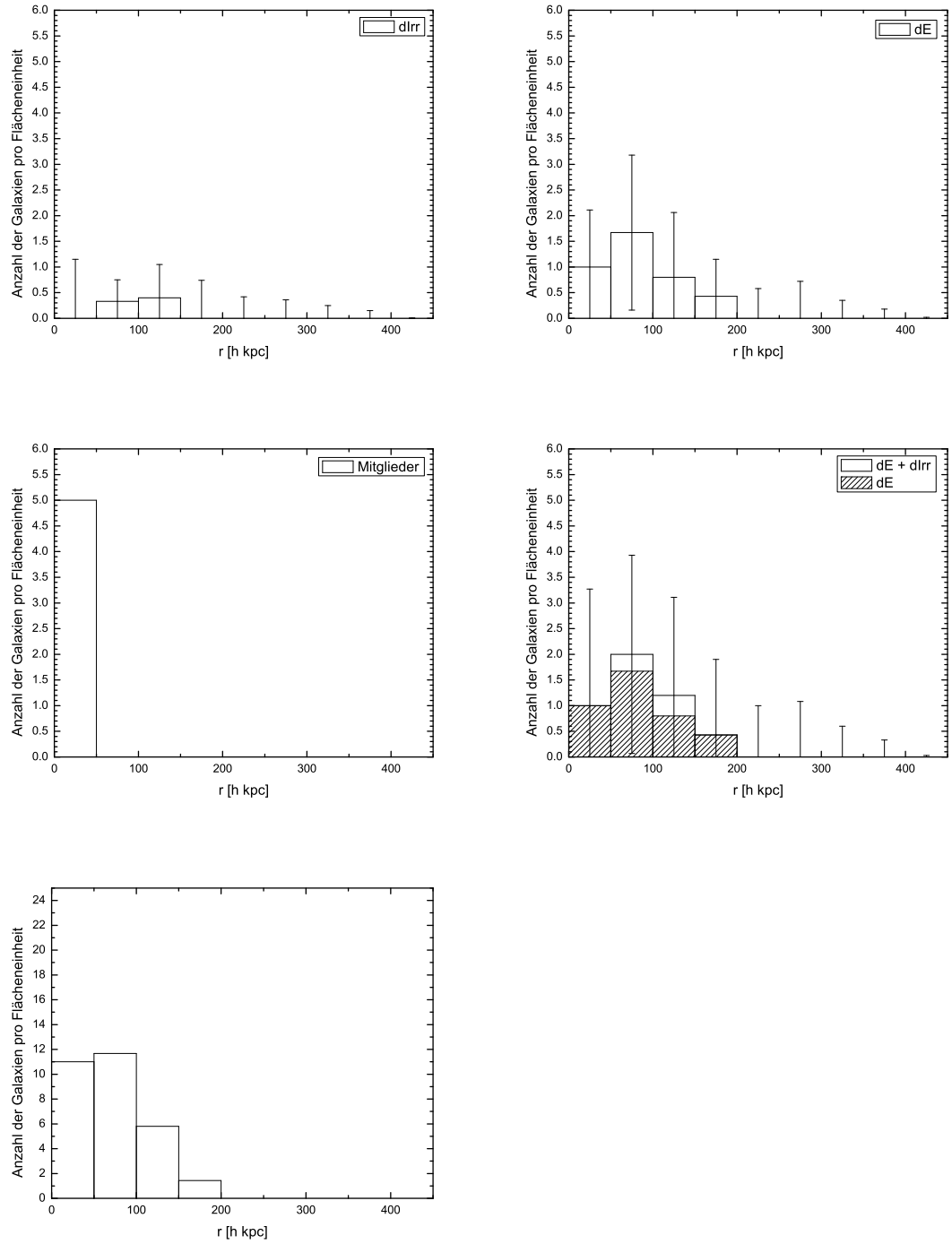


Abbildung C.6: Entfernung der Galaxienpopulation vom Zentrum der Gruppe HCG079

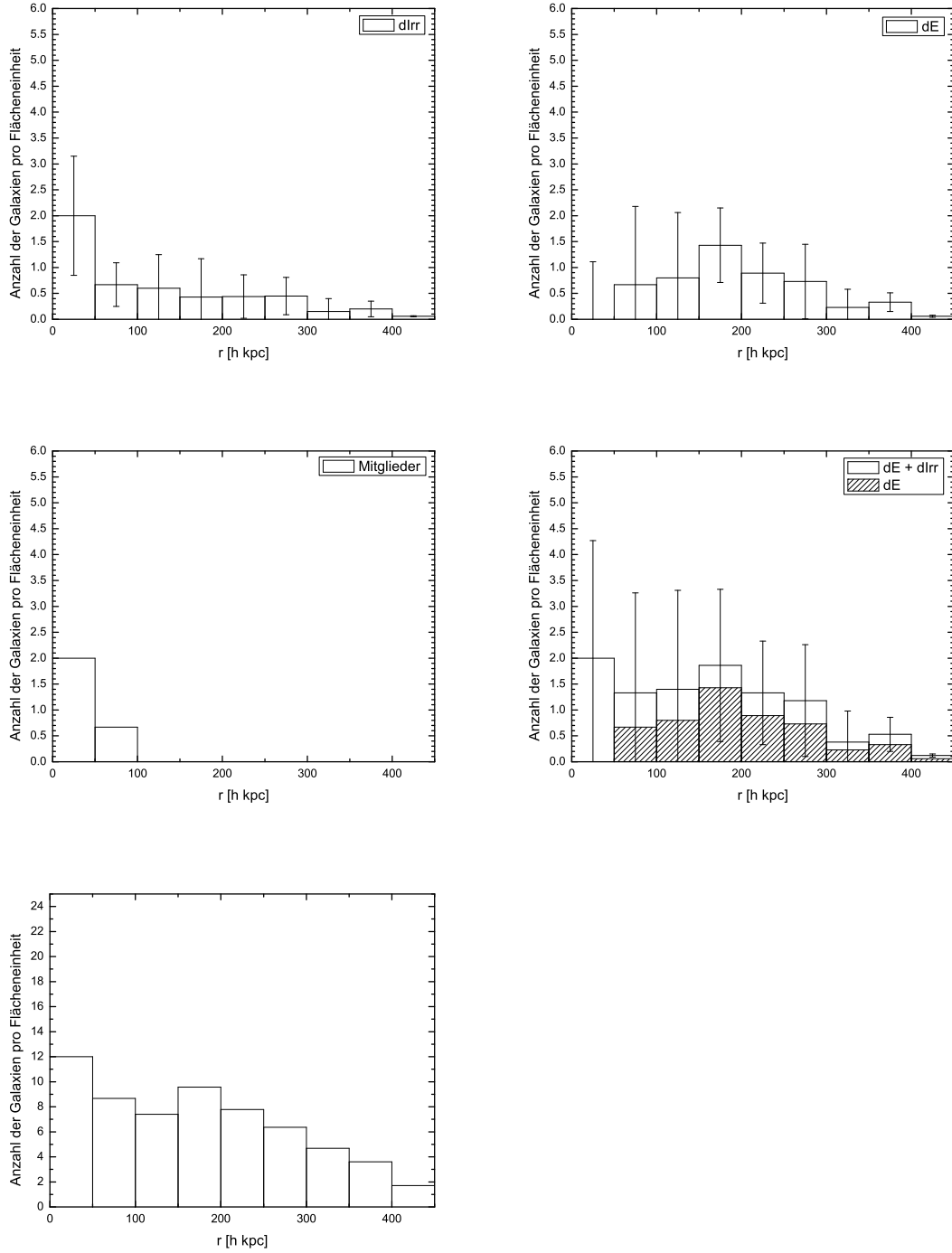


Abbildung C.7: Entfernung der Galaxienpopulation vom Zentrum der Gruppe HCG088

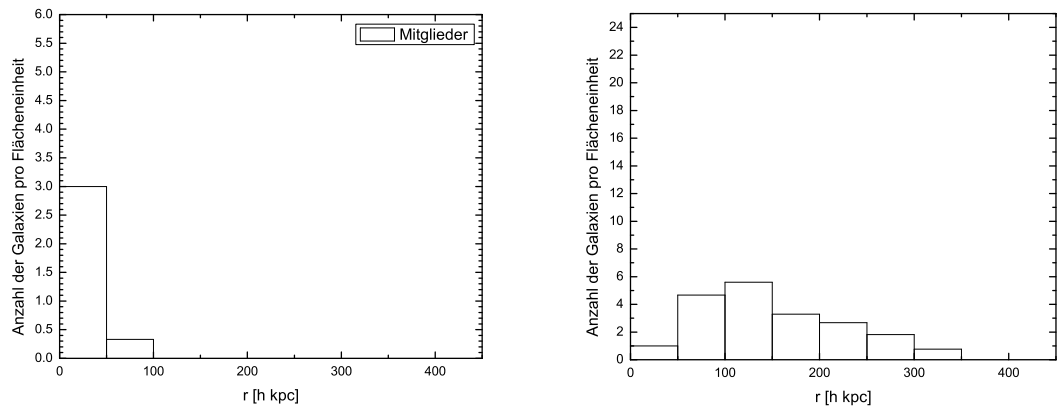


Abbildung C.8: Entfernung der projizierten Mitglieder vom Zentrum der Gruppe HCG041 und Hintergrundgalaxien von HCG041.

Anhang D

Leuchtkraftfunktionen

Im folgenden sind die Leuchtkraftfunktionen der einzelnen Gruppen, sowie ein weiteres Mal eine aufsummierte und eine gemittelte Leuchtkraftfunktion für alle sieben Gruppen, dargestellt. Zur Erstellung der Fehlerbalken wurden drei verschiedene Fehler angenommen, die mit sinkender Leuchtkraft ansteigen. Für HCG041 wurde aufgrund ihres projizierten Charakters keine

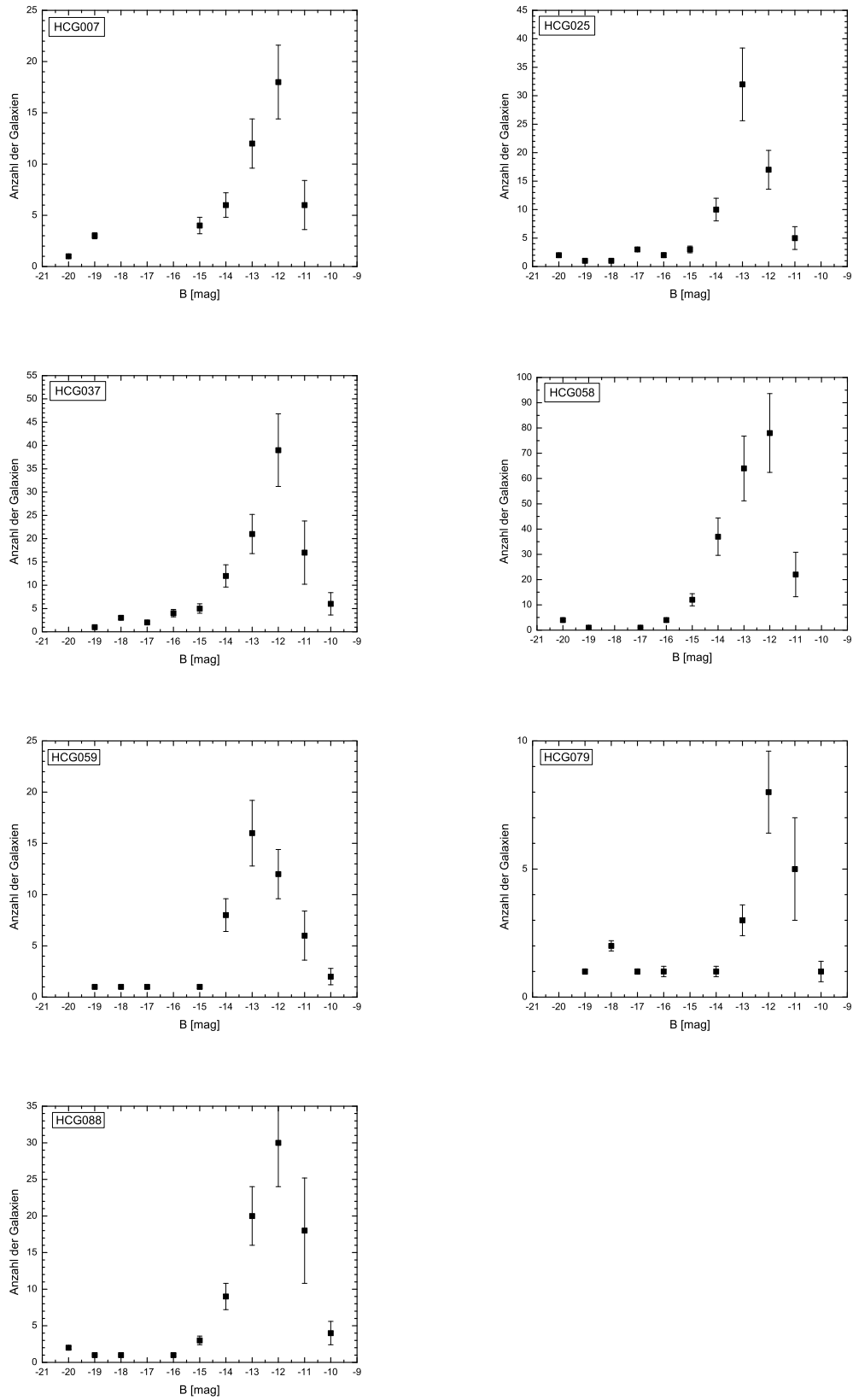


Abbildung D.1: Leuchtkraftfunktionen der sieben untersuchten Gruppen.

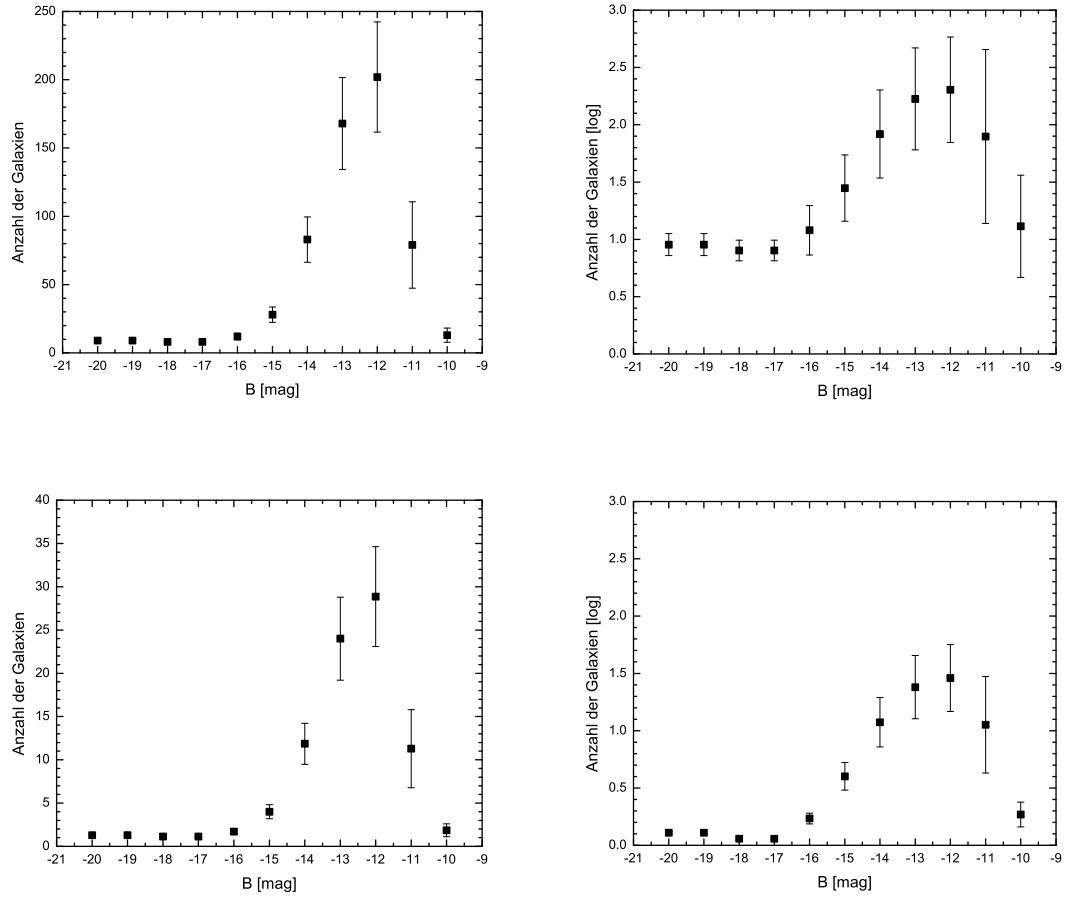


Abbildung D.2: Die vereinte Leuchtkraftfunktion aller sieben Gruppen. Oben: Die Aufsummierung aller Galaxien; Unten: Das Mittel der sieben Gruppen; Rechts: Sowohl oben als auch unten ist die Anzahl der Galaxien logarithmisch dargestellt.

Anhang E

Geschwindigkeiten der HCGs

In den folgenden Tabellen sind all jene Galaxien gelistet, welche zur Berechnung der Masse und des Radius der kompakten Gruppen verwendet wurden. Die Daten stammen aus der NED-Datenbank und geben alle Galaxien in einem Radius von 1 Mpc vom Gruppenzentrum an, welche eine passende Geschwindigkeit besitzen. Als Grenzen für die Radialgeschwindigkeit wurde dabei $\pm 500 \text{ km s}^{-1}$ von der Dispersionsgeschwindigkeit der Gruppe angenommen. Die meisten gefundenen Galaxien zeigen jedoch eine sehr viel geringere Abweichung von dieser maximalen Grenze, wie man in den Diagrammen E.1 am Ende des Anhangs sehen kann.

In der Tabelle sind der Name der Galaxie laut NED, die Koordinaten, sowie die in der NED-Datenbank angegebenen Radialgeschwindigkeit aufgelistet. Tabellen und Diagramme finden sich für sieben kompakte Gruppen. HCG041 wurde aufgrund ihrer Natur ausgeschlossen.

Tabelle E.1: Verwendete Galaxien zur Berechnung von R_0 von HCG007.

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	v [km/s]
NGC 0197	00 39 18.8	+00 53 31	4121
NGC 0196	00 39 17.8	+00 54 46	4255
NGC 0192	00 39 13.4	+00 51 51	4133
NGC 0201	00 39 34.8	+00 51 36	4415
SDSS J003915.46+005633.1	00 39 15.4	+00 56 33	4182
SDSS J003943.33+005738.3	00 39 43.3	+00 57 38	4141
SDSS J003759.81+004236.0	00 37 59.8	+00 42 36	4164
2MASX J00401925+0127478	00 40 19.3	+01 27 47	4077
SDSS J003631.71+003347.8	00 36 31.7	+00 33 48	4089

Tabelle E.2: Verwendete Galaxien zur Berechnung von R_0 von HCG025.

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	v [km/s]
UGC 02691 NED02	03 20 45.3	-010314	6244
UGC 02691 NED01	03 20 45.4	-010241	6331
CGCG 390-067	03 20 38.5	-010206	6322
UGC 02690	03 20 42.9	-010631	6285
SDSS J032034.82-010545.1	03 20 34.8	-010545	6428
SDSS J032041.13-011033.9	03 20 41.1	-011034	6373
APMUKS(BJ) B031813.29-010216.0	03 20 46.2	-005130	6595
SDSS J032046.09-005100.1	03 20 46.1	-005100	6510
SDSS J032208.45-010727.6	03 22 08.4	-010728	6376

Tabelle E.3: Verwendete Galaxien zur Berechnung von R_0 von HCG037.

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	v [km/s]
NGC 2783B	09 13 33.1	+30 00 01	6758
NGC 2783	09 13 39.4	+29 59 35	6745
MCG +05-22-018	09 13 34.0	+30 02 23	6469
2MASX J09133683+2955589	09 13 36.8	+29 55 59	6936
2MASX J09132840+2953164	09 13 28.4	+29 53 17	6516
SDSS J091306.51+300537.4	09 13 06.5	+30 05 37	6510
SDSS J091412.36+300325.3	09 14 12.3	+30 03 25	6320
SDSS J091410.74+295631.8	09 14 10.7	+29 56 32	6630
SDSS J091350.93+295140.5	09 13 50.9	+29 51 40	6928
SDSS J091306.45+295157.7	09 13 06.4	+29 51 58	6594
2MASX J09124163+3000538	09 12 41.6	+30 00 54	6998
CGCG 151-031	09 14 40.4	+29 59 16	6406
SDSS J091353.22+301448.6	09 13 53.2	+30 14 49	7052
SDSS J091306.83+301401.2	09 13 06.8	+30 14 01	6288
UGC 04869	09 14 34.3	+30 08 27	6889
SDSS J091435.04+300829.6	09 14 35.0	+30 08 30	6756
IC 2444	09 12 50.8	+30 12 44	6530
CGCG 151-030	09 14 34.8	+29 49 31	6701
FGC 0859	09 14 08.4	+29 44 33	6323
2MASX J09145493+3012088	09 14 54.9	+30 12 09	6996
SDSS J091458.06+295034.0	09 14 58.0	+29 50 34	6273
2MASX J09141481+2941437	09 14 14.8	+29 41 44	6649
SDSS J091315.20+302251.7	09 13 15.2	+30 22 52	7020
SDSS J091314.19+293639.6	09 13 14.2	+29 36 40	6595
NGC 2789	09 14 59.6	+29 43 49	6337
SDSS J091451.94+293959.2	09 14 51.9	+29 39 59	6606
SDSS J091422.42+302558.8	09 14 22.4	+30 25 59	6446
SDSS J091419.86+293244.5	09 14 19.8	+29 32 44	6714
SDSS J091456.49+302602.9	09 14 56.5	+30 26 03	6746
2MASX J09152438+3023162	09 15 24.4	+30 23 16	6929
CS 0176	09 11 54.3	+29 34 09	6779
CGCG 151-021	09 12 45.3	+29 25 17	6349

Tabelle E.4: Verwendete Galaxien zur Berechnung von R_0 von HCG058.

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	v [km/s]
NGC 3822	11 42 11.1	+10 16 40	6138
NGC 3819	11 42 05.9	+10 21 04	6274
2MASX J11420497+1021267	11 42 05.0	+10 21 27	6441
SDSS J114156.62+101707.5	11 41 56.6	+10 17 08	6366
SDSS J114204.76+102149.6	11 42 04.8	+10 21 50	6386
NGC 3817 NED03	11 41 54.5	+10 18 19	6042
NGC 3825	11 42 23.7	+10 15 51	6503
NGC 3817 NED02	11 41 52.9	+10 18 16	6103
NGC 3820	11 42 04.9	+10 23 03	6102
SDSS J114220.90+100509.7	11 42 20.9	+10 05 10	6225
SDSS J114140.99+102956.4	11 41 41.0	+10 29 56	6163
UGC 06647	11 41 03.7	+10 13 30	6280
CGCG 068-044	11 43 29.3	+10 20 43	6013
NGC 3833	11 43 29.0	+10 09 43	6036
SDSS J114341.60+101439.9	11 43 41.6	+10 14 40	6026
CGCG 068-046	11 43 41.8	+10 14 44	6009
CGCG 068-042	11 43 22.8	+10 48 05	6104
SDSS J114339.33+095018.0	11 43 39.3	+09 50 18	6060
NGC 3839	11 43 54.3	+10 47 05	5916

Tabelle E.5: Verwendete Galaxien zur Berechnung von R_0 von HCG059.

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ′ ″]	v [km/s]
IC 0737	11 48 27.5	+12 43 38	4109
KUG 1145+129	1h 48 32.4	+12 42 19	4394
KUG 1145+130	11 48 30.6	+12 43 47	3635
IC 0736	11 48 20.1	+12 42 59	4004
SDSS J114817.89+124333.2	11 48 17.9	+12 43 33	4167
SDSS J114813.50+123919.2	11 48 13.5	+12 39 19	4127
SDSS J114912.23+123753.7	11 49 12.2	+12 37 54	3999
BKB95 1145+1258	11 47 34.6	+12 41 20	4383
KUG 1146+129	11 49 30.7	+12 40 38	4001

Tabelle E.6: Verwendete Galaxien zur Berechnung von R_0 von HCG079.

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ′ ″]	v [km/s]
NGC 6027a	15 59 11.1	+20 45 16	4560
NGC 6027b	15 59 10.8	+20 45 43	4053
NGC 6027	15 59 12.5	+20 45 48	4447
NGC 6027c	15 59 11.8	+20 44 49	4620
NGC 6027e	15 59 14.5	+20 45 57	4095
UGC 10127	16 00 24.0	+20 50 57	4823
CGCG 137-004	15 56 33.7	+21 17 21	4367
CGCG 137-019	16 02 30.5	+21 07 14	4555
NGC 6032	16 03 01.1	+20 57 21	4282

Tabelle E.7: Verwendete Galaxien zur Berechnung von R_0 von HCG088.

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ′ ″]	v [km/s]
NGC 6975	20 52 26.0	-05 46 20	5956
SDSS J205224.43-054714.2	20 52 24.4	-05 47 14	6091
NGC 6977	20 52 29.7	-05 44 46	6192
SDSS J205223.18-054325.7	20 52 23.2	-05 43 26	5805
MCG -01-53-014	20 52 12.8	-05 47 54	6041
NGC 6978	20 52 35.4	-05 42 40	6033

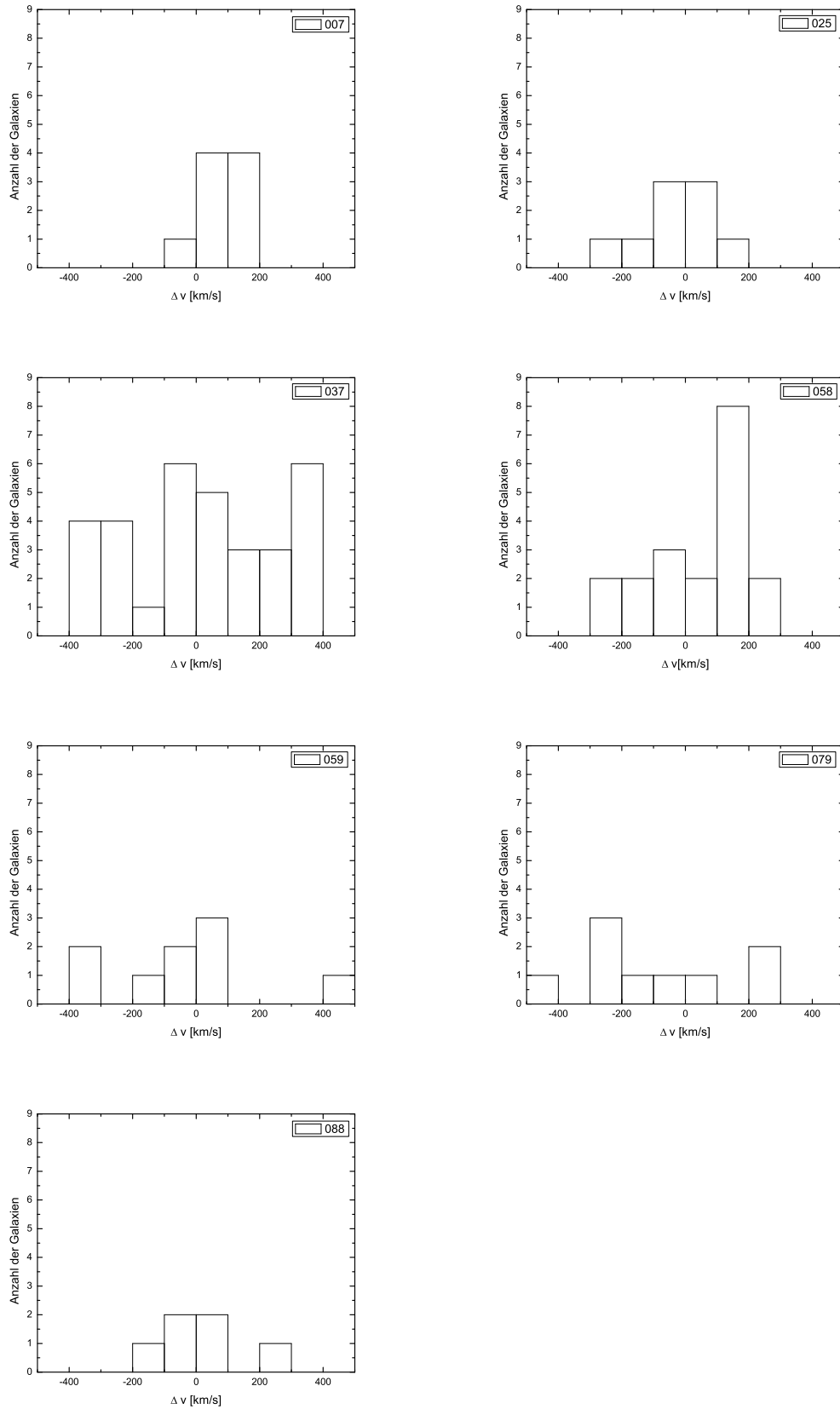


Abbildung E.1: Verteilung der Galaxiengeschwindigkeit rund um die Dispersionsgeschwindigkeit der kompakten Gruppen.

Anhang F

Gefundene Objekte

Im folgenden sind Informationen, zu den letztendlich in das Sample aufgenommenen, neu gefundenen Zwerggalaxien aufgelistet. Dabei wird, aufgrund der morphologischen Bestimmung mit der Rotsequenz bei jeder Gruppe zwischen zwergirregulären, zwergelliptischen und anderen Galaxien unterschieden.

Der Name der Galaxie ergibt sich aus der Nummer der Gruppe und einer fortlaufenden internen Nummerierung. Die Koordinaten wurden - da SDSS alle Koordinaten in Grad angibt - in gängigere Stunden für Rektaszension und Grad für Deklination, umgewandelt. Die angegebenen Magnituden in r' und i' stammen aus der SDSS-Datenbank. Die absolute Magnitude R wurde mit Hilfe der Formel 3.1 und der Entfernung der Gruppe errechnet. Für die Gruppe HCG041, die nur ein Projektionseffekt ist, wurde keine absolute Magnitude errechnet.

Tabelle F.1: HCG007, dIrr

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG007-0125	00 38 55.3	+00 59 32	17.59	17.42	-16.36
HCG007-0272	00 39 34.3	+00 44 36	19.95	19.63	-13.99
HCG007-0713	00 39 01.8	+00 48 21	20.99	20.42	-12.93
HCG007-0760	00 38 55.3	+00 58 42	19.90	19.71	-14.06
HCG007-0993	00 39 38.0	+00 38 20	19.55	19.36	-14.39
HCG007-1215	00 39 04.2	+00 42 29	18.33	18.09	-15.63
HCG007-1340	00 39 04.1	+00 58 41	21.68	21.45	-12.25
HCG007-1362	00 39 04.3	+01 02 07	21.53	21.07	-12.38
HCG007-1401	00 39 42.6	+00 44 49	21.08	20.82	-12.86
HCG007-1582	00 39 00.9	+01 00 40	17.89	17.70	-16.05
HCG007-1613	00 39 00.8	+00 49 57	19.65	19.35	-14.28
HCG007-1629	00 39 08.5	+00 46 02	19.42	19.24	-14.53
HCG007-1774	00 39 10.1	+00 43 31	20.45	20.25	-13.48
HCG007-1783	00 39 44.6	+00 43 06	20.32	19.94	-13.61
HCG007-2115	00 39 19.3	+00 56 17	19.70	19.49	-14.26
HCG007-2531	00 39 52.4	+00 48 12	20.06	20.00	-13.89
HCG007-2731	00 39 44.7	+01 00 07	19.01	18.78	-14.95
HCG007-3188	00 39 34.3	+00 44 36	19.95	19.63	-13.99
HCG007-3952	00 40 04.6	+00 41 57	20.48	20.28	-13.48
HCG007-4055	00 39 28.4	+00 40 17	21.02	20.63	-12.93
HCG007-4252	00 40 02.1	+00 37 52	20.33	20.04	-13.62
HCG007-4549	00 39 24.3	+00 44 52	19.39	19.34	-14.56

Tabelle F.2: HCG007, dE

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG007-0245	00 39 33.5	+00 47 49	21.72	22.57	-12.26
HCG007-0374	00 39 35.3	+00 50 43	19.85	20.00	-14.12
HCG007-0615	00 39 26.9	+00 50 19	19.39	19.15	-14.58
HCG007-1479	00 39 02.5	+01 01 53	18.71	18.48	-15.26
HCG007-1788	00 39 10.7	+00 49 05	20.34	20.13	-13.64
HCG007-1810	00 39 10.5	+00 48 37	20.40	20.15	-13.57
HCG007-2102	00 39 36.8	+01 01 52	21.08	21.14	-12.88
HCG007-2224	00 39 17.5	+00 51 17	20.32	20.01	-13.67
HCG007-2395	00 39 14.6	+00 41 54	21.75	21.50	-12.23
HCG007-2506	00 39 14.5	+00 58 41	20.42	20.12	-13.57
HCG007-2571	00 39 13.2	+01 02 52	20.49	20.49	-13.47
HCG007-2596	00 39 43.3	+00 57 38	17.24	16.92	-16.75
HCG007-2839	00 39 17.5	+00 49 18	20.91	20.59	-13.08
HCG007-2957	00 39 53.2	+01 01 47	20.76	20.58	-13.20
HCG007-4334	00 39 26.9	+00 50 19	19.39	19.15	-14.58
HCG007-4966	00 39 22.4	+00 48 60	21.72	21.49	-12.27

Tabelle F.3: HCG007, Andere

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG007-1069	00 39 04.4	+00 47 56	20.96	20.75	-13.05
HCG007-1417	00 39 03.3	+01 00 05	18.96	18.61	-15.05
HCG007-1596	00 39 44.4	+00 41 53	21.38	20.97	-12.64
HCG007-2200	00 39 17.6	+01 00 60	20.74	20.42	-13.26
HCG007-2554	00 39 14.0	+01 02 60	20.24	19.92	-13.77
HCG007-2631	00 39 13.4	+00 59 09	20.49	20.20	-13.52
HCG007-4898	00 39 23.0	+00 47 36	21.54	22.04	-12.47
HCG007-5156	00 39 21.5	+00 45 16	20.81	20.46	-13.19

Tabelle F.4: HCG025, dIrr

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG025-0116	03 20 34.8	-02 54 15	16.64	16.34	-18.22
HCG025-0786	03 19 47.8	-01 02 23	21.59	21.47	-13.23
HCG025-0901	03 20 37.7	-02 45 03	21.27	21.09	-13.56
HCG025-0994	03 20 00.6	-02 53 37	22.18	21.71	-12.65
HCG025-1021	03 20 16.8	-01 02 41	20.80	20.68	-14.04
HCG025-1253	03 20 36.8	-01 03 04	20.00	19.65	-14.81
HCG025-1398	03 20 12.9	-02 45 07	20.97	20.67	-13.87
HCG025-1462	03 21 25.3	-02 52 16	21.43	20.93	-13.39
HCG025-1725	03 20 30.7	-01 00 48	18.31	18.04	-16.53
HCG025-1751	03 20 08.9	-02 49 15	18.82	18.66	-16.02
HCG025-1855	03 20 41.1	-02 49 26	16.65	16.38	-18.21
HCG025-1881	03 19 53.0	-01 08 39	20.45	20.56	-14.39
HCG025-1980	03 20 27.2	-02 59 26	19.73	19.54	-15.09
HCG025-1984	03 21 27.6	-01 02 10	19.69	19.46	-15.15
HCG025-1997	03 19 51.7	-01 08 24	20.71	20.48	-14.11
HCG025-2003	03 20 06.7	-02 48 20	20.33	20.02	-14.50
HCG025-2268	03 20 15.0	-01 01 50	21.93	22.05	-12.91
HCG025-2357	03 20 29.3	-02 53 04	20.72	20.58	-14.10
HCG025-2471	03 20 47.1	-02 58 38	21.80	21.30	-12.98
HCG025-2631	03 21 41.1	-02 45 30	19.07	18.81	-15.77
HCG025-3125	03 21 35.2	-02 52 41	20.97	20.57	-13.85
HCG025-3181	03 20 21.1	-02 49 46	18.28	18.13	-16.54

Tabelle F.5: HCG025, dE

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG025-0053	03 20 50.6	-01 00 28	21.31	21.01	-13.54
HCG025-0124	03 19 51.5	-02 47 59	21.86	22.02	-13.00
HCG025-0168	03 20 28.2	-02 50 42	19.75	19.42	-15.11
HCG025-0428	03 20 56.5	-01 06 33	19.74	19.73	-15.12
HCG025-0454	03 20 31.5	-02 52 32	20.28	20.08	-14.58
HCG025-0478	03 20 32.0	-02 56 32	20.41	20.15	-14.46
HCG025-0635	03 21 09.3	-02 55 22	19.87	19.53	-15.01
HCG025-0713	03 20 23.2	-02 57 54	21.03	20.69	-13.84
HCG025-0724	03 19 58.7	-02 47 42	20.70	20.46	-14.18
HCG025-0825	03 20 36.5	-02 46 12	21.74	21.35	-13.11
HCG025-0837	03 19 48.5	-01 05 45	20.07	19.92	-14.80
HCG025-0848	03 20 37.0	-02 49 08	20.85	20.62	-14.01
HCG025-0889	03 21 12.7	-02 45 21	21.03	20.84	-13.83
HCG025-0898	03 21 12.0	-02 53 30	21.13	20.87	-13.73
HCG025-1031	03 21 15.5	-02 55 08	18.42	18.09	-16.47
HCG025-1058	03 20 39.2	-01 07 58	20.33	20.10	-14.51
HCG025-1118	03 20 39.2	-02 58 03	20.51	20.26	-14.36
HCG025-1132	03 20 02.3	-01 01 15	21.33	21.35	-13.52
HCG025-1211	03 20 02.8	-02 54 41	20.50	20.01	-14.35
HCG025-1249	03 20 36.9	-01 08 57	21.16	21.02	-13.71
HCG025-1300	03 21 27.3	-02 50 18	21.77	22.29	-13.10
HCG025-1318	03 20 13.8	-02 47 33	20.10	19.83	-14.76
HCG025-1348	03 20 48.2	-02 55 31	20.48	20.16	-14.38
HCG025-1519	03 20 45.9	-02 51 10	22.37	21.90	-12.49
HCG025-1646	03 20 10.3	-02 47 57	20.76	20.46	-14.09
HCG025-1794	03 21 22.2	-02 51 12	21.19	21.37	-13.67
HCG025-1832	03 20 41.8	-02 46 36	22.37	22.26	-12.48
HCG025-1895	03 19 52.8	-01 04 02	19.55	19.22	-15.33
HCG025-2101	03 21 03.7	-02 54 11	20.39	20.09	-14.47
HCG025-2161	03 21 04.0	-02 55 48	20.19	19.88	-14.69
HCG025-2175	03 21 18.8	-02 56 55	19.91	19.65	-14.94
HCG025-2281	03 21 18.0	-02 51 40	20.74	20.48	-14.10
HCG025-2441	03 21 16.4	-02 47 39	21.75	21.56	-13.11
HCG025-2600	03 20 45.7	-01 00 21	21.46	21.62	-13.40
HCG025-2661	03 21 39.9	-02 47 35	20.77	20.78	-14.09
HCG025-2671	03 20 26.0	-02 46 08	20.42	20.36	-14.44
HCG025-2700	03 21 40.3	-02 47 47	22.28	22.41	-12.58
HCG025-2762	03 20 55.7	-02 55 53	22.34	22.48	-12.52
HCG025-3044	03 21 35.3	-02 48 33	21.75	21.21	-13.11
HCG025-3066	03 20 52.1	-02 56 12	15.72	15.31	-19.19
HCG025-3305	03 20 19.9	-02 45 47	21.52	21.28	-13.36

Tabelle F.6: HCG025, Andere

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG025-0858	03 21 16.8	-02 59 59	21.04	20.86	-13.86
HCG025-0895	03 21 15.6	-01 01 41	20.91	20.48	-13.98
HCG025-0923	03 20 37.5	-02 56 27	20.65	20.27	-14.24
HCG025-1381	03 20 13.1	-02 55 56	20.54	20.12	-14.37
HCG025-1774	03 20 08.7	-02 51 09	19.82	19.45	-15.08
HCG025-2693	03 20 56.8	-02 57 05	21.84	21.91	-13.05
HCG025-2759	03 20 56.0	-02 50 10	20.06	19.87	-14.83
HCG025-2851	03 20 25.0	-02 49 48	20.72	20.27	-14.17
HCG025-3020	03 20 39.8	-01 09 14	22.12	22.09	-12.77

Tabelle F.7: HCG037, dIrr

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG037-1410	09 13 49.5	+29 58 58	18.59	18.35	-16.37
HCG037-0986	09 13 51.4	+30 04 19	22.01	21.38	-12.90
HCG037-1203	09 13 11.4	+30 00 48	21.48	21.06	-13.44
HCG037-1215	09 13 56.4	+29 57 19	22.00	21.82	-12.94
HCG037-2376	09 13 17.4	+29 56 26	19.07	18.80	-15.88
HCG037-2954	09 13 58.2	+29 57 45	19.60	19.47	-15.35
HCG037-2451	09 14 03.8	+30 00 21	22.62	22.11	-12.28
HCG037-1861	09 13 54.0	+29 54 59	19.83	19.76	-15.10
HCG037-2704	09 13 13.5	+30 06 08	22.17	22.17	-12.77
HCG037-3856	09 13 16.5	+30 07 13	22.45	22.72	-12.49
HCG037-0163	09 14 08.0	+30 00 41	22.88	23.71	-12.00
HCG037-3468	09 14 00.5	+30 07 02	22.28	22.70	-12.64
HCG037-1398	09 13 52.1	+30 10 17	21.26	20.86	-13.68
HCG037-3703	09 12 53.7	+29 58 12	21.59	21.80	-13.33
HCG037-2805	09 14 18.4	+30 03 02	21.06	21.05	-13.88
HCG037-1203	09 14 07.1	+29 52 37	22.81	22.39	-12.09
HCG037-0984	09 13 06.4	+29 51 58	17.42	17.22	-17.53
HCG037-1578	09 12 45.8	+29 59 13	21.54	21.48	-13.38
HCG037-1922	09 12 44.5	+29 57 21	22.33	21.89	-12.60
HCG037-1574	09 14 31.4	+29 58 35	22.48	21.92	-12.46
HCG037-1800	09 13 47.2	+29 46 53	22.60	23.67	-12.34
HCG037-1326	09 14 33.2	+29 59 39	21.63	21.43	-13.31
HCG037-2300	09 13 32.6	+29 45 15	22.13	21.89	-12.80
HCG037-0595	09 12 36.6	+29 54 10	21.43	21.24	-13.51
HCG037-0460	09 12 19.2	+30 00 47	22.85	22.07	-12.09

Tabelle F.8: HCG037, dE

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG037-3960	09 13 32.1	+29 59 24	22.57	22.89	-12.38
HCG037-0489	09 13 45.7	+30 02 45	22.21	22.50	-12.75
HCG037-3320	09 13 30.1	+30 04 36	17.92	17.61	-17.07
HCG037-0774	09 13 52.2	+30 01 55	20.19	19.98	-14.80
HCG037-0700	09 13 44.9	+30 04 36	19.76	19.44	-15.20
HCG037-0524	09 13 39.7	+30 05 11	22.43	22.63	-12.55
HCG037-0592	09 13 48.4	+30 04 06	19.42	19.21	-15.55
HCG037-3110	09 13 28.8	+30 05 08	22.13	22.00	-12.83
HCG037-2485	09 13 17.0	+29 59 43	19.81	19.50	-15.17
HCG037-2521	09 13 23.3	+29 57 07	22.11	21.74	-12.85
HCG037-0999	09 13 57.4	+30 00 49	20.85	20.26	-14.12
HCG037-2044	09 13 14.8	+30 02 38	20.27	20.01	-14.72
HCG037-0007	09 13 33.3	+29 55 15	20.11	19.87	-14.86
HCG037-2246	09 13 13.6	+30 02 06	20.20	19.95	-14.78
HCG037-2526	09 13 12.4	+30 01 33	21.17	20.90	-13.81
HCG037-1798	09 13 51.3	+29 56 24	21.37	21.13	-13.59
HCG037-2307	09 13 20.3	+29 55 53	22.10	21.86	-12.88
HCG037-3318	09 13 23.5	+30 06 53	21.02	20.84	-13.94
HCG037-0065	09 13 12.8	+29 56 52	21.47	22.04	-13.51
HCG037-1296	09 13 57.2	+29 56 26	17.62	17.29	-17.38
HCG037-3527	09 13 18.8	+30 08 13	21.81	21.42	-13.14
HCG037-2174	09 13 06.5	+30 05 37	17.69	17.34	-17.31
HCG037-3207	09 14 06.0	+30 06 24	22.29	21.84	-12.68
HCG037-1719	09 13 48.6	+30 09 48	19.10	18.82	-15.87
HCG037-3228	09 14 12.4	+30 03 25	17.55	17.22	-17.43
HCG037-1929	09 13 15.0	+29 52 32	19.62	19.33	-15.35
HCG037-1165	09 12 55.4	+30 00 08	22.32	22.13	-12.63
HCG037-3436	09 13 56.7	+30 09 51	18.62	18.42	-16.34
HCG037-1112	09 12 53.8	+30 01 13	21.52	21.73	-13.45
HCG037-2653	09 13 28.0	+29 50 34	21.44	21.21	-13.54
HCG037-0999	09 13 55.7	+29 50 52	22.07	22.31	-12.89
HCG037-2983	09 12 50.5	+30 04 00	22.50	21.87	-12.46
HCG037-1508	09 12 52.3	+29 55 22	22.26	21.66	-12.72
HCG037-1060	09 13 10.8	+29 50 17	21.84	21.77	-13.12
HCG037-0213	09 12 48.1	+30 06 48	21.31	22.35	-13.68
HCG037-1579	09 14 28.8	+30 00 26	21.37	21.03	-13.63
HCG037-3030	09 14 28.1	+30 03 15	19.82	19.62	-15.15
HCG037-0993	09 12 41.6	+30 00 54	16.27	15.92	-18.73
HCG037-3032	09 14 29.9	+30 04 44	19.99	19.69	-14.99
HCG037-2514	09 14 19.8	+29 51 51	20.64	20.37	-14.34
HCG037-2638	09 13 57.1	+30 14 34	19.68	19.48	-15.29
HCG037-3633	09 12 39.3	+30 05 21	20.35	20.16	-14.62
HCG037-2718	09 12 37.5	+29 57 28	20.63	20.58	-14.33
HCG037-0432	09 13 08.0	+29 47 13	21.18	20.84	-13.79
HCG037-2532	09 12 32.9	+30 00 13	21.75	21.44	-13.21
HCG037-0668	09 12 41.1	+29 52 58	18.92	18.63	-16.07
HCG037-3163	09 14 38.6	+30 00 27	20.68	20.43	-14.31
HCG037-1520	09 12 34.0	+30 04 24	20.71	20.51	-14.25
HCG037-0894	09 12 28.2	+30 00 13	22.48	22.19	-12.47
HCG037-0926	09 14 34.3	+29 52 32	20.80	20.53	-14.16
HCG037-0632	09 14 32.8	+29 51 22	23.67	22.67	-11.29
HCG037-2867	09 14 42.7	+29 56 34	19.37	19.09	-15.61
HCG037-0854	09 14 36.4	+29 51 39	20.36	20.07	-14.61
HCG037-0530	09 13 15.4	+29 43 40	22.02	21.96	-12.94
HCG037-0150	09 12 15.6	+30 01 27	20.04	19.85	-14.93

Tabelle F.9: HCG037, Andere

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG037-2136	09 14 02.4	+30 01 04	22.21	22.05	-12.78
HCG037-2607	09 12 47.1	+29 53 25	21.92	21.97	-13.07
HCG037-3491	09 12 39.1	+30 05 58	20.48	20.21	-14.51
HCG037-3343	09 13 22.6	+30 07 10	21.85	21.72	-13.15
HCG037-1776	09 13 53.8	+29 55 34	21.93	21.59	-13.07
HCG037-0899	09 13 06.0	+29 51 01	22.20	22.45	-12.80
HCG037-1408	09 13 31.5	+30 06 10	21.64	21.32	-13.36
HCG037-3303	09 12 52.7	+30 01 14	21.50	21.13	-13.50
HCG037-1298	09 13 12.1	+29 52 40	22.65	22.64	-12.36
HCG037-3286	09 14 03.3	+30 07 07	22.35	22.25	-12.66
HCG037-3543	09 13 02.2	+29 54 35	23.17	21.99	-11.84
HCG037-0964	09 13 06.3	+30 02 31	22.84	21.81	-12.17
HCG037-3063	09 13 26.6	+30 06 52	21.35	21.58	-13.67
HCG037-0715	09 13 38.3	+29 56 35	21.51	21.45	-13.50
HCG037-2234	09 13 49.3	+29 54 20	21.97	21.70	-13.05
HCG037-2852	09 14 15.1	+29 52 14	22.28	22.49	-12.74
HCG037-0448	09 13 45.8	+29 51 02	22.45	23.29	-12.58
HCG037-0291	09 13 46.2	+30 01 26	20.58	20.32	-14.44
HCG037-1125	09 13 18.5	+29 56 58	22.08	23.02	-12.95
HCG037-1897	09 13 19.8	+29 50 28	22.02	21.88	-13.02
HCG037-2925	09 12 22.1	+30 03 50	21.73	22.16	-13.30
HCG037-3055	09 14 49.4	+29 55 26	21.21	21.78	-13.83
HCG037-0706	09 13 48.5	+30 03 04	22.37	21.96	-12.69
HCG037-1345	09 13 00.5	+29 55 02	22.47	23.39	-12.59
HCG037-0390	09 13 51.2	+29 49 20	22.97	21.89	-12.10
HCG037-1845	09 13 17.6	+30 02 28	21.11	22.98	-13.97

Tabelle F.10: HCG041, Alle

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]
HCG041-0002	09 56 55.2	+45 12 14	21.88	21.73
HCG041-0003	09 58 52.9	+45 18 13	21.69	21.21
HCG041-0041	09 56 23.7	+45 10 34	21.13	20.65
HCG041-0116	09 57 17.4	+45 04 36	21.27	21.06
HCG041-0121	09 57 20.7	+45 06 16	22.28	21.09
HCG041-0142	09 56 01.0	+45 20 01	22.55	22.71
HCG041-0152	09 57 58.2	+45 04 30	20.22	19.65
HCG041-0244	09 56 44.4	+45 18 27	21.10	20.74
HCG041-0283	09 57 08.5	+45 00 07	19.97	19.70
HCG041-0284	09 57 32.4	+45 27 59	22.04	22.11
HCG041-0310	09 56 10.8	+45 15 48	20.39	19.81
HCG041-0315	09 57 36.4	+45 27 29	22.25	21.87
HCG041-0320	09 57 29.4	+45 21 51	22.39	21.02
HCG041-0322	09 57 55.8	+45 18 59	19.11	18.77
HCG041-0339	09 57 18.6	+45 22 41	22.59	22.30
HCG041-0370	09 57 12.0	+44 59 44	20.63	20.17
HCG041-0376	09 57 42.8	+45 10 04	22.25	21.60
HCG041-0416	09 57 56.3	+45 19 16	17.00	16.51
HCG041-0429	09 56 48.4	+45 15 38	21.80	21.28
HCG041-0452	09 56 20.5	+45 11 60	20.05	19.67
HCG041-0471	09 57 56.7	+45 19 06	20.05	19.73
HCG041-0476	09 57 09.0	+45 02 53	18.94	18.57
HCG041-0484	09 56 21.1	+45 09 43	23.16	21.88
HCG041-0508	09 57 08.9	+45 21 35	21.62	21.63
HCG041-0522	09 58 04.2	+45 32 46	22.37	21.58
HCG041-0528	09 57 54.2	+45 05 52	18.88	18.55
HCG041-0565	09 58 00.3	+45 07 32	20.41	19.92
HCG041-0591	09 57 05.2	+45 05 50	19.66	19.33
HCG041-0642	09 56 00.7	+45 19 20	20.63	20.16
HCG041-0655	09 56 49.7	+45 24 17	22.09	22.41
HCG041-0674	09 58 22.7	+45 19 59	18.60	18.18
HCG041-0725	09 56 59.1	+45 18 12	21.56	21.52
HCG041-0755	09 57 46.5	+45 12 18	22.29	22.71
HCG041-0779	09 58 29.6	+45 17 04	21.09	20.82
HCG041-0835	09 58 40.1	+45 07 33	22.85	21.71
HCG041-0872	09 57 18.9	+45 26 50	23.00	21.67
HCG041-0950	09 57 14.4	+45 12 42	19.11	18.89
HCG041-0956	09 56 51.1	+45 22 53	20.75	20.63
HCG041-0988	09 57 57.9	+45 13 39	18.68	18.17
HCG041-0996	09 58 32.1	+45 10 46	22.85	21.66
HCG041-1009	09 57 48.9	+45 13 44	22.19	22.60
HCG041-1015	09 57 19.1	+45 00 34	21.66	20.79
HCG041-1017	09 57 16.4	+45 18 55	22.36	22.48
HCG041-1040	09 57 05.6	+45 13 21	19.85	19.42
HCG041-1044	09 56 29.7	+45 19 24	20.45	20.02
HCG041-1049	09 56 28.9	+45 21 43	19.19	18.92
HCG041-1060	09 58 02.6	+45 14 25	20.63	20.19
HCG041-1110	09 57 54.4	+45 12 42	17.98	17.49
HCG041-1114	09 57 21.1	+45 25 32	20.33	19.98
HCG041-1126	09 57 52.2	+45 13 46	21.15	20.67
HCG041-1137	09 58 14.8	+45 19 59	20.20	19.76
HCG041-1167	09 57 22.6	+45 19 55	21.64	21.16
HCG041-1218	09 57 54.8	+45 10 57	20.10	19.78
HCG041-1228	09 57 35.3	+45 05 44	21.90	20.59
HCG041-1291	09 58 10.8	+45 21 07	19.59	19.10
HCG041-1352	09 58 20.8	+45 23 53	21.42	20.15
HCG041-1357	09 56 51.0	+45 22 42	22.13	21.09
HCG041-1375	09 57 05.9	+45 08 58	17.40	16.97
HCG041-1388	09 57 28.9	+45 19 59	21.76	21.33
HCG041-1396	09 57 09.2	+45 27 50	21.28	20.26
HCG041-1424	09 57 16.5	+45 12 12	17.62	17.19
HCG041-1426	09 58 31.6	+45 14 03	21.50	20.97
HCG041-1436	09 58 56.9	+45 15 18	18.04	17.68
HCG041-1455	09 57 16.9	+45 16 17	19.99	19.59
HCG041-1467	09 57 54.1	+45 09 01	20.61	20.15
HCG041-1477	09 58 01.3	+45 11 35	21.93	22.60
HCG041-1488	09 57 08.9	+45 19 53	22.32	21.64

Tabelle F.10: HCG041, Alle (Fortsetzung)

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' "]	m_r [mag]	m_i [mag]
HCG041-1499	09 58 51.9	+45 15 25	21.45	21.26
HCG041-1609	09 57 00.8	+45 20 57	22.81	21.85
HCG041-1610	09 57 54.2	+45 08 17	21.90	21.06
HCG041-1631	09 57 48.9	+45 29 39	22.56	22.06
HCG041-1668	09 58 49.3	+45 13 29	22.26	21.96
HCG041-1684	09 57 01.8	+45 15 38	22.74	21.43
HCG041-1784	09 56 29.1	+45 14 17	22.53	21.22
HCG041-1828	09 58 39.5	+45 20 06	22.24	21.48
HCG041-1914	09 57 07.3	+45 15 38	23.09	21.31
HCG041-1947	09 57 07.3	+45 24 40	20.80	20.51
HCG041-1966	09 58 09.4	+45 19 35	20.51	19.87
HCG041-2002	09 57 10.4	+45 16 44	21.50	21.49
HCG041-2015	09 56 21.4	+45 12 01	21.58	20.63
HCG041-2048	09 56 26.7	+45 16 49	20.03	19.43
HCG041-2112	09 58 14.4	+45 26 41	21.69	21.15
HCG041-2138	09 57 35.2	+45 13 26	21.74	21.18
HCG041-2158	09 57 08.4	+45 20 25	21.03	20.40
HCG041-2275	09 56 57.1	+45 24 09	21.84	21.25
HCG041-2345	09 58 16.5	+45 23 54	23.09	21.95
HCG041-2419	09 57 51.9	+45 22 39	22.17	21.81
HCG041-2430	09 57 48.3	+45 06 02	22.63	21.75
HCG041-2639	09 57 20.7	+45 19 15	23.08	21.93
HCG041-2644	09 58 31.1	+45 11 04	22.81	21.62
HCG041-2650	09 57 57.9	+45 30 16	18.81	18.40
HCG041-2674	09 56 57.6	+45 21 58	22.41	21.84
HCG041-2731	09 57 00.8	+45 18 53	21.61	21.28
HCG041-3025	09 58 59.7	+45 16 58	20.72	20.48
HCG041-3193	09 58 11.6	+45 27 16	22.65	23.02
HCG041-3349	09 57 01.1	+45 24 34	20.06	19.88
HCG041-3947	09 58 39.7	+45 11 50	21.28	20.99
HCG041-3967	09 57 07.6	+45 11 24	19.34	18.90
HCG041-4039	09 57 24.2	+45 21 18	21.07	21.20
HCG041-4110	09 57 58.6	+45 14 39	20.22	20.04
HCG041-4754	09 58 02.8	+45 07 40	21.91	21.35
HCG041-5136	09 58 17.8	+45 24 44	21.33	21.17
HCG041-5754	09 58 26.1	+45 13 03	21.07	20.05
HCG041-6011	09 57 37.9	+45 18 37	21.95	21.70
HCG041-6062	09 58 07.5	+45 22 09	21.67	20.86
HCG041-6195	09 57 58.1	+45 11 05	19.33	19.00

Tabelle F.11: HCG058, dIrr

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG058-0002	11 41 30.8	+10 09 21	19.09	18.97	-15.69
HCG058-0116	11 42 06.7	+10 08 08	20.52	20.49	-14.25
HCG058-0236	11 41 47.1	+10 20 20	22.28	22.21	-12.48
HCG058-0310	11 41 12.8	+10 19 05	19.87	19.60	-14.87
HCG058-0332	11 41 11.9	+10 25 26	22.19	23.65	-12.52
HCG058-0337	11 41 13.6	+10 17 57	19.43	19.13	-15.33
HCG058-0340	11 42 09.2	+10 10 53	22.71	22.57	-12.03
HCG058-0418	11 42 10.8	+10 05 45	20.22	20.01	-14.55
HCG058-0430	11 42 11.5	+10 08 19	19.68	19.51	-15.09
HCG058-0442	11 42 10.4	+10 05 36	21.67	21.38	-13.09
HCG058-0442	11 42 47.4	+10 05 17	19.93	19.66	-14.83
HCG058-0661	11 41 50.5	+10 17 55	21.80	21.54	-12.96
HCG058-0699	11 42 27.7	+10 23 17	20.65	20.47	-14.10
HCG058-0789	11 41 18.1	+10 27 44	21.75	21.84	-12.97
HCG058-0819	11 42 27.4	+10 29 51	23.05	22.78	-11.65
HCG058-0852	11 41 41.8	+10 10 46	18.15	17.96	-16.62
HCG058-0878	11 41 40.1	+10 12 31	20.36	20.15	-14.39
HCG058-0882	11 42 30.9	+10 18 09	22.29	23.15	-12.46
HCG058-0886	11 42 16.5	+10 15 17	20.39	20.10	-14.37
HCG058-0895	11 42 17.1	+10 14 21	20.88	20.62	-13.89
HCG058-0929	11 41 20.4	+10 27 25	20.06	19.78	-14.72
HCG058-1159	11 42 36.8	+10 15 26	21.97	22.08	-12.72
HCG058-1312	11 41 49.8	+10 13 15	19.89	20.06	-14.87
HCG058-1329	11 42 29.6	+10 13 02	22.24	22.17	-12.52
HCG058-1339	11 43 06.0	+10 17 19	21.62	21.31	-13.11
HCG058-1373	11 41 56.5	+10 25 18	21.38	21.19	-13.38
HCG058-1460	11 41 56.8	+10 28 35	21.39	21.37	-13.37
HCG058-1482	11 41 56.6	+10 29 48	22.02	22.03	-12.72
HCG058-1757	11 41 34.6	+10 21 06	20.81	20.57	-13.96
HCG058-1769	11 41 41.6	+10 07 02	21.14	20.71	-13.63
HCG058-1803	11 42 10.8	+10 21 08	20.48	20.31	-14.28
HCG058-1820	11 43 02.2	+10 04 48	20.91	20.52	-13.84
HCG058-1825	11 42 43.2	+10 22 03	20.87	20.56	-13.90
HCG058-1914	11 42 22.2	+10 11 32	19.73	19.60	-15.03
HCG058-2045	11 42 21.1	+10 11 12	22.16	22.33	-12.59
HCG058-2048	11 42 08.8	+10 20 14	21.97	21.66	-12.77
HCG058-2085	11 42 20.6	+10 12 27	22.13	21.43	-12.63
HCG058-2216	11 42 20.1	+10 04 55	22.32	22.38	-12.42
HCG058-2292	11 41 30.4	+10 20 23	20.51	20.19	-14.25
HCG058-2419	11 41 28.4	+10 29 11	19.39	19.11	-15.38
HCG058-2482	11 41 28.4	+10 23 43	19.14	18.92	-15.62
HCG058-2557	11 42 06.0	+10 27 21	19.18	18.94	-15.58
HCG058-2569	11 42 04.5	+10 18 31	21.70	21.72	-13.03
HCG058-2580	11 41 56.8	+10 15 29	20.08	19.85	-14.69
HCG058-2580	11 42 03.4	+10 24 07	21.00	20.74	-13.77
HCG058-2614	11 42 03.7	+10 22 12	22.14	22.22	-12.62
HCG058-2718	11 41 26.1	+10 16 37	22.08	21.99	-12.64
HCG058-2734	11 42 40.0	+10 10 02	22.16	21.89	-12.60
HCG058-2826	11 42 00.6	+10 27 43	18.17	17.86	-16.61
HCG058-2889	11 43 00.0	+10 17 32	20.45	20.18	-14.29
HCG058-2903	11 41 24.3	+10 16 49	19.60	19.37	-15.15
HCG058-2929	11 42 36.8	+10 13 57	22.33	21.95	-12.38
HCG058-3025	11 42 58.4	+10 22 28	22.27	21.91	-12.48
HCG058-3268	11 42 32.8	+10 11 44	21.05	20.63	-13.70
HCG058-3355	11 43 10.2	+10 17 27	22.56	21.91	-12.15
HCG058-3387	11 42 31.2	+10 16 20	20.49	20.23	-14.27
HCG058-3398	11 42 56.0	+10 17 29	18.12	17.83	-16.65
HCG058-3424	11 41 44.1	+10 16 45	20.32	20.22	-14.45
HCG058-3599	11 41 40.5	+10 27 12	20.70	20.31	-14.06
HCG058-3793	11 41 40.3	+10 17 45	20.92	20.65	-13.82
HCG058-3917	11 42 16.9	+10 26 50	21.94	21.77	-12.81
HCG058-3956	11 42 17.6	+10 26 25	20.55	20.41	-14.21
HCG058-4186	11 42 14.9	+10 27 33	20.32	20.00	-14.44
HCG058-4546	11 42 11.7	+10 18 47	21.80	21.37	-12.95
HCG058-4589	11 42 10.8	+10 26 57	21.99	21.70	-12.75
HCG058-4598	11 42 11.4	+10 29 08	20.69	20.42	-14.06
HCG058-4615	11 42 11.8	+10 25 25	22.49	22.15	-12.27

Tabelle F.11: HCG058, dIrr (Fortsetzung)

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG058-4690	11 42 11.2	+10 26 12	22.77	22.65	-11.98

Tabelle F.12: HCG058, dE

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG058-0001	11 42 41.5	+10 16 15	20.23	20.11	-14.55
HCG058-0165	11 42 44.3	+10 04 28	19.85	19.69	-14.94
HCG058-0169	11 41 46.8	+10 16 55	21.37	20.85	-13.43
HCG058-0228	11 41 45.7	+10 29 02	22.30	22.04	-12.51
HCG058-0234	11 41 46.3	+10 26 35	21.92	22.18	-12.88
HCG058-0263	11 41 10.3	+10 29 41	21.35	21.16	-13.46
HCG058-0275	11 42 07.8	+10 14 09	21.79	21.43	-13.00
HCG058-0311	11 41 12.4	+10 21 31	21.18	20.77	-13.62
HCG058-0323	11 42 24.8	+10 21 02	19.78	19.53	-15.02
HCG058-0347	11 42 26.6	+10 29 09	22.04	21.51	-12.76
HCG058-0383	11 41 48.9	+10 25 28	19.60	19.40	-15.20
HCG058-0396	11 41 47.6	+10 26 03	21.28	21.20	-13.51
HCG058-0534	11 41 48.7	+10 25 47	21.43	21.38	-13.37
HCG058-0535	11 42 47.4	+10 11 58	20.63	20.36	-14.16
HCG058-0558	11 41 17.5	+10 22 43	20.82	20.72	-13.95
HCG058-0570	11 42 27.3	+10 17 36	21.00	20.74	-13.80
HCG058-0613	11 42 12.8	+10 10 02	19.33	18.80	-15.48
HCG058-0619	11 42 27.0	+10 21 05	20.66	21.09	-14.14
HCG058-0676	11 42 28.2	+10 17 17	20.89	20.56	-13.90
HCG058-0680	11 42 14.8	+10 09 50	18.17	17.83	-16.63
HCG058-0680	11 41 37.4	+10 04 48	19.50	19.16	-15.31
HCG058-0699	11 41 36.7	+10 14 56	19.61	19.31	-15.20
HCG058-0832	11 41 51.5	+10 22 45	22.26	21.79	-12.53
HCG058-0846	11 41 20.3	+10 19 17	21.13	21.08	-13.66
HCG058-0850	11 42 16.4	+10 06 06	20.39	20.13	-14.42
HCG058-0871	11 42 16.6	+10 05 55	19.83	19.68	-14.98
HCG058-0987	11 41 53.2	+10 23 12	20.06	19.88	-14.74
HCG058-0991	11 41 53.1	+10 20 40	21.80	21.75	-13.00
HCG058-0999	11 41 52.5	+10 27 57	22.16	21.73	-12.61
HCG058-1009	11 42 30.5	+10 20 14	20.35	20.07	-14.42
HCG058-1013	11 42 29.5	+10 28 59	18.77	18.52	-16.01
HCG058-1129	11 41 55.8	+10 21 03	20.53	20.40	-14.29
HCG058-1209	11 41 50.9	+10 15 59	19.30	18.99	-15.51
HCG058-1210	11 41 54.5	+10 29 26	19.18	18.84	-15.64
HCG058-1225	11 41 45.2	+10 20 21	18.88	18.57	-15.91
HCG058-1270	11 42 32.5	+10 27 22	19.68	19.39	-15.10
HCG058-1284	11 41 49.2	+10 16 45	20.40	20.41	-14.39
HCG058-1325	11 43 06.2	+10 17 13	20.91	20.60	-13.89
HCG058-1350	11 41 43.3	+10 26 58	22.01	21.83	-12.78
HCG058-1378	11 41 58.2	+10 20 01	21.58	21.53	-13.23
HCG058-1391	11 42 32.1	+10 30 05	22.37	21.58	-12.41
HCG058-1406	11 41 48.1	+10 15 15	21.90	22.03	-12.89
HCG058-1497	11 43 05.7	+10 10 16	22.18	21.94	-12.59
HCG058-1502	11 42 26.4	+10 17 34	21.20	20.96	-13.59
HCG058-1525	11 42 26.4	+10 12 49	18.32	18.09	-16.48
HCG058-1531	11 41 45.3	+10 15 24	20.49	20.30	-14.32
HCG058-1641	11 41 59.7	+10 18 28	22.49	22.71	-12.30
HCG058-1706	11 41 59.8	+10 21 46	21.79	21.85	-13.02
HCG058-1720	11 41 42.6	+10 07 35	20.45	20.01	-14.36
HCG058-1765	11 42 11.3	+10 20 29	22.37	22.53	-12.42
HCG058-1915	11 41 32.8	+10 24 55	21.11	20.81	-13.67
HCG058-1921	11 42 22.0	+10 13 28	20.98	20.61	-13.81
HCG058-1927	11 42 43.4	+10 19 43	19.01	18.73	-15.81
HCG058-1948	11 42 22.3	+10 08 59	21.87	21.45	-12.93
HCG058-1962	11 42 22.2	+10 08 26	22.23	22.90	-12.54
HCG058-1966	11 42 22.1	+10 08 53	20.64	20.31	-14.15
HCG058-2019	11 42 21.7	+10 07 59	22.04	21.47	-12.73
HCG058-2031	11 42 08.2	+10 28 26	21.76	21.68	-13.03
HCG058-2044	11 42 20.6	+10 15 21	20.89	20.74	-13.92

Tabelle F.12: HCG058, dE (Fortsetzung)

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG058-2082	11 42 03.1	+10 16 12	19.07	18.89	-15.75
HCG058-2089	11 42 20.6	+10 11 26	19.28	18.96	-15.54
HCG058-2097	11 42 40.3	+10 25 08	20.52	20.18	-14.28
HCG058-2101	11 42 40.0	+10 27 55	20.48	20.18	-14.31
HCG058-2154	11 42 20.3	+10 09 27	21.69	21.97	-13.09
HCG058-2218	11 41 30.4	+10 26 31	21.05	20.72	-13.75
HCG058-2349	11 42 17.7	+10 13 25	21.02	20.62	-13.75
HCG058-2363	11 42 18.3	+10 08 53	21.24	21.23	-13.55
HCG058-2406	11 42 04.8	+10 21 50	16.28	15.92	-18.54
HCG058-2426	11 43 19.8	+10 17 29	20.60	20.27	-14.18
HCG058-2435	11 42 05.3	+10 19 12	21.06	21.03	-13.72
HCG058-2441	11 42 03.9	+10 30 01	20.08	19.77	-14.71
HCG058-2452	11 41 56.6	+10 17 08	17.71	17.43	-17.08
HCG058-2466	11 43 10.3	+10 04 57	20.58	20.34	-14.21
HCG058-2484	11 42 37.0	+10 24 16	20.58	20.47	-14.22
HCG058-2494	11 43 20.0	+10 14 03	20.64	20.33	-14.16
HCG058-2517	11 42 04.0	+10 23 49	22.23	22.64	-12.58
HCG058-2529	11 42 40.2	+10 11 03	20.01	19.71	-14.78
HCG058-2559	11 42 35.2	+10 27 50	19.73	19.35	-15.07
HCG058-2575	11 43 10.3	+10 06 55	19.57	19.23	-15.25
HCG058-2604	11 42 03.4	+10 21 03	21.24	21.02	-13.55
HCG058-2610	11 42 03.5	+10 20 09	21.26	21.26	-13.54
HCG058-2681	11 41 25.4	+10 24 44	20.15	19.90	-14.64
HCG058-2792	11 42 01.6	+10 23 36	21.68	21.72	-13.12
HCG058-2954	11 42 59.2	+10 17 17	21.07	20.80	-13.71
HCG058-2969	11 42 36.5	+10 14 08	20.50	20.24	-14.31
HCG058-3018	11 42 35.5	+10 15 30	21.67	21.69	-13.10
HCG058-3032	11 42 36.1	+10 13 10	21.80	21.60	-13.00
HCG058-3066	11 42 35.1	+10 08 17	21.67	21.83	-13.14
HCG058-3109	11 42 23.2	+10 24 25	21.26	21.34	-13.54
HCG058-3246	11 42 44.6	+10 28 26	21.40	21.08	-13.41
HCG058-3255	11 42 23.0	+10 21 25	20.57	20.24	-14.21
HCG058-3256	11 42 32.6	+10 14 20	20.52	20.22	-14.26
HCG058-3269	11 41 44.6	+10 29 21	17.64	17.31	-17.17
HCG058-3311	11 41 44.3	+10 26 54	21.52	21.37	-13.27
HCG058-3314	11 42 31.9	+10 13 45	18.91	18.62	-15.88
HCG058-3367	11 42 44.6	+10 29 25	20.05	19.79	-14.74
HCG058-3371	11 42 31.1	+10 15 34	20.98	21.03	-13.79
HCG058-3413	11 42 21.1	+10 29 00	20.98	20.57	-13.83
HCG058-3419	11 42 22.2	+10 17 28	20.91	20.44	-13.90
HCG058-3565	11 42 20.5	+10 20 09	18.69	18.35	-16.11
HCG058-3647	11 42 19.6	+10 22 56	22.32	21.97	-12.46
HCG058-3679	11 42 53.4	+10 20 44	20.87	20.67	-13.91
HCG058-3747	11 42 45.5	+10 29 21	21.25	21.06	-13.53
HCG058-3779	11 42 19.3	+10 18 24	21.21	20.83	-13.59
HCG058-3959	11 42 17.1	+10 24 25	21.68	21.62	-13.11
HCG058-4106	11 42 48.8	+10 24 42	21.48	21.46	-13.30
HCG058-4182	11 42 47.3	+10 28 56	22.09	21.98	-12.69
HCG058-4186	11 42 46.8	+10 30 02	20.05	19.81	-14.76
HCG058-4201	11 42 16.0	+10 17 10	18.66	18.28	-16.15
HCG058-4251	11 42 13.7	+10 30 09	19.42	19.24	-15.38
HCG058-4302	11 42 14.1	+10 24 24	21.15	21.13	-13.63
HCG058-4520	11 42 10.3	+10 29 54	22.17	22.34	-12.63

Tabelle F.13: HCG058, Andere

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG058-0005	11 42 42.2	+10 05 45	20.24	19.94	-14.59
HCG058-0014	11 42 04.3	+10 16 26	21.34	21.43	-13.48
HCG058-0144	11 42 22.4	+10 23 48	20.44	20.12	-14.40
HCG058-0234	11 42 08.2	+10 06 33	20.31	20.05	-14.53
HCG058-0445	11 41 48.6	+10 18 00	21.90	21.48	-12.92
HCG058-0522	11 42 27.3	+10 20 38	22.10	20.74	-12.76
HCG058-0574	11 42 47.9	+10 10 50	21.70	21.90	-13.12
HCG058-0735	11 41 38.3	+10 08 06	19.72	19.32	-15.11
HCG058-0741	11 41 39.0	+10 06 25	20.97	21.02	-13.87
HCG058-0857	11 42 15.8	+10 11 40	21.21	20.85	-13.62
HCG058-0863	11 42 50.7	+10 15 44	18.60	18.24	-16.24
HCG058-0884	11 42 17.8	+10 12 26	20.03	19.66	-14.81
HCG058-0957	11 41 52.4	+10 24 03	21.65	21.58	-13.16
HCG058-1169	11 42 53.0	+10 17 45	21.07	20.82	-13.76
HCG058-1221	11 41 55.4	+10 18 45	21.89	21.69	-12.93
HCG058-1264	11 42 30.8	+10 13 15	21.19	20.94	-13.63
HCG058-1479	11 43 06.2	+10 05 47	21.52	21.27	-13.32
HCG058-1539	11 41 58.1	+10 24 29	20.90	21.21	-13.92
HCG058-1611	11 41 58.2	+10 24 40	22.32	21.89	-12.53
HCG058-1701	11 41 59.1	+10 26 57	22.34	22.24	-12.52
HCG058-1843	11 41 33.0	+10 27 30	20.84	20.57	-13.99
HCG058-2195	11 42 07.5	+10 20 60	21.19	20.78	-13.63
HCG058-2337	11 42 18.0	+10 11 50	22.09	22.23	-12.74
HCG058-2342	11 41 59.1	+10 12 26	19.32	19.32	-15.53
HCG058-2493	11 42 40.3	+10 16 52	22.00	22.71	-12.84
HCG058-2773	11 43 01.1	+10 20 17	22.13	23.04	-12.75
HCG058-2959	11 42 37.8	+10 05 56	19.87	19.60	-14.98
HCG058-3088	11 41 48.7	+10 17 00	21.55	21.15	-13.28
HCG058-3158	11 42 23.9	+10 21 01	21.12	20.68	-13.71
HCG058-3314	11 42 22.7	+10 17 13	20.80	20.54	-14.03
HCG058-3387	11 42 21.8	+10 23 06	20.90	20.58	-13.92
HCG058-3434	11 42 56.3	+10 17 41	21.34	21.09	-13.48
HCG058-3479	11 43 09.2	+10 15 58	21.01	20.69	-13.82
HCG058-3569	11 42 54.4	+10 20 13	21.63	21.19	-13.19
HCG058-3602	11 42 19.1	+10 27 05	19.38	18.99	-15.45
HCG058-3626	11 42 19.3	+10 27 60	21.66	21.34	-13.16
HCG058-3789	11 42 52.6	+10 21 28	20.27	19.83	-14.55
HCG058-3893	11 42 47.0	+10 21 57	19.43	19.12	-15.41

Tabelle F.14: HCG059, dIrr

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG059-0008	11 47 50.4	+12 45 29	19.48	19.33	-14.38
HCG059-0054	11 47 50.7	+12 43 13	20.04	19.87	-13.81
HCG059-0159	11 48 37.5	+12 50 15	22.19	22.00	-11.64
HCG059-0633	11 48 06.9	+12 58 13	18.61	18.40	-15.25
HCG059-0869	11 48 38.7	+12 42 39	18.43	18.18	-15.43
HCG059-1109	11 48 02.5	+12 45 19	17.42	17.16	-16.45
HCG059-1302	11 48 03.7	+12 38 29	19.42	19.20	-14.44
HCG059-1330	11 49 12.2	+12 52 17	21.40	21.23	-12.44
HCG059-1862	11 48 12.0	+12 36 52	19.36	19.22	-14.49
HCG059-2002	11 48 56.4	+12 50 29	20.95	20.75	-12.87
HCG059-2028	11 48 44.4	+12 43 30	20.67	20.51	-13.19
HCG059-2552	11 48 05.2	+12 41 16	20.19	19.94	-13.68
HCG059-2717	11 48 03.4	+12 44 51	20.14	19.95	-13.70
HCG059-2727	11 48 49.6	+12 57 55	19.48	19.24	-14.37
HCG059-2922	11 48 11.4	+12 58 29	21.36	21.17	-12.47
HCG059-3215	11 48 59.3	+12 41 26	20.50	20.54	-13.34
HCG059-3544	11 48 21.9	+12 45 43	19.94	19.61	-13.90
HCG059-3903	11 49 02.9	+12 54 32	19.32	19.18	-14.55

Tabelle F.15: HCG059, dE

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG059-0307	11 47 52.5	+12 45 40	21.30	21.43	-12.59
HCG059-0415	11 48 03.3	+12 55 43	19.63	19.54	-14.25
HCG059-0601	11 48 12.5	+12 51 15	18.51	18.28	-15.37
HCG059-0634	11 48 33.7	+12 45 28	21.28	21.37	-12.59
HCG059-0694	11 48 41.7	+12 56 16	21.41	21.49	-12.48
HCG059-0744	11 48 41.6	+12 59 13	21.62	21.36	-12.25
HCG059-1094	11 48 34.1	+12 54 13	21.33	21.01	-12.55
HCG059-1098	11 48 34.1	+12 49 59	20.26	19.98	-13.62
HCG059-1197	11 48 40.7	+12 35 43	20.00	19.86	-13.88
HCG059-1450	11 48 49.4	+12 45 10	21.00	20.95	-12.89
HCG059-1623	11 48 48.6	+12 37 13	19.64	19.44	-14.27
HCG059-1777	11 48 20.8	+12 59 48	22.41	22.75	-11.45
HCG059-1982	11 48 10.0	+12 45 26	19.92	19.65	-13.98
HCG059-2045	11 48 09.9	+12 40 40	18.37	18.16	-15.51
HCG059-2127	11 48 09.3	+12 40 02	18.72	18.39	-15.18
HCG059-2131	11 48 09.4	+12 40 36	20.56	20.71	-13.32
HCG059-2388	11 48 16.4	+12 56 33	19.97	19.76	-13.90
HCG059-2412	11 48 07.7	+12 36 02	22.37	22.15	-11.50
HCG059-2923	11 48 29.2	+12 38 36	20.60	20.28	-13.29
HCG059-3017	11 48 27.6	+12 39 26	20.45	20.44	-13.42
HCG059-3291	11 49 10.3	+12 56 07	20.87	20.54	-13.00
HCG059-3346	11 48 33.9	+12 52 00	18.37	18.16	-15.51
HCG059-3554	11 49 08.1	+12 50 21	19.14	19.12	-14.74
HCG059-3788	11 48 20.5	+12 37 55	20.73	20.72	-13.16
HCG059-3859	11 48 20.0	+12 38 30	19.70	19.48	-14.20

Tabelle F.16: HCG059, Andere

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG059-2570	11 48 04.6	+12 45 22	19.85	19.76	-14.06

Tabelle F.17: HCG079, dIrr

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG079-3148	15 59 15.1	+ 20 40 09	21.38	21.67	-12.63
HCG079-4239	15 58 46.8	+20 40 48	21.38	21.67	-12.53
HCG079-2483	15 58 40.5	+20 48 23	21.41	21.12	-12.58

Tabelle F.18: HCG079, dE

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG079-2087	15 59 16.8	+20 45 02	22.28	22.67	-14.83
HCG079-5531	15 59 27.9	+20 44 23	21.43	20.59	-12.59
HCG079-5483	15 59 26.9	+20 43 20	21.43	20.59	-14.20
HCG079-4992	15 59 28.4	+20 43 06	21.38	21.11	-12.63
HCG079-4318	15 58 51.7	+20 43 18	21.38	21.11	-13.50
HCG079-4660	15 58 49.6	+20 43 28	19.67	19.31	-14.39
HCG079-1148	15 59 20.2	+20 51 24	19.67	19.31	-13.36
HCG079-4918	15 59 02.4	+20 51 48	21.77	21.50	-12.28
HCG079-5632	15 58 51.0	+20 50 20	21.77	21.50	-14.97
HCG079-2441	15 58 46.5	+20 51 14	20.88	20.77	-13.16
HCG079-1829	15 58 41.7	+20 50 59	20.88	20.77	-12.58
HCG079-1966	15 58 47.1	+20 53 10	22.08	22.34	-11.95
HCG079-1280	15 58 25.2	+20 44 12	22.08	22.34	-13.10

Tabelle F.19: HCG079, Andere

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG079-6167	15 59 38.1	+20 42 47	21.41	21.12	-12.52
HCG079-5791	15 59 27.9	+20 45 12	22.28	22.67	-11.83

Tabelle F.20: HCG088, dIrr

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG088-0686	20 52 24.4	-06 12 46	17.43	17.18	-17.30
HCG088-0686	20 52 26.9	-06 16 11	21.17	20.74	-13.55
HCG088-2711	20 52 21.6	-06 18 06	20.31	20.21	-14.41
HCG088-2711	20 52 10.4	-06 16 36	20.40	20.19	-14.33
HCG088-1782	20 52 02.6	-06 14 54	21.59	21.43	-13.12
HCG088-1782	20 52 37.8	-06 18 21	19.53	19.33	-15.19
HCG088-3283	20 52 09.4	-06 10 20	20.08	20.06	-14.64
HCG088-3283	20 51 51.9	-06 16 27	18.85	18.59	-15.87
HCG088-1375	20 52 35.3	-06 06 44	20.78	20.83	-13.94
HCG088-1375	20 52 56.2	-06 16 09	21.28	21.70	-13.44
HCG088-3523	20 52 16.9	-06 23 32	18.44	18.21	-16.28
HCG088-3523	20 51 48.3	-06 10 53	20.30	20.10	-14.41
HCG088-0017	20 52 45.9	-06 06 05	21.00	20.54	-13.71
HCG088-0017	20 52 26.8	-06 25 05	21.71	21.39	-13.00
HCG088-2076	20 52 27.0	-06 03 52	22.44	22.52	-12.27
HCG088-2076	20 52 55.7	-06 21 51	22.17	21.97	-12.52
HCG088-0594	20 51 54.6	-06 24 41	20.67	20.48	-14.02
HCG088-0594	20 53 11.2	-06 11 38	21.23	21.06	-13.46
HCG088-2459	20 51 47.6	-06 05 37	20.98	20.94	-13.73
HCG088-2459	20 52 55.9	-06 04 23	22.41	22.20	-12.27
HCG088-1092	20 52 17.1	-07 59 55	20.91	20.77	-13.80
HCG088-1092	20 53 22.4	-06 16 14	21.75	21.24	-12.96
HCG088-1155	20 53 23.3	-06 10 42	21.66	21.31	-13.04
HCG088-1155	20 53 27.0	-06 17 54	22.22	21.66	-12.49
HCG088-3102	20 53 20.5	-06 04 31	19.45	19.18	-15.28

Tabelle F.21: HCG088, dE

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG088-2824	20 52 18.4	-06 12 31	21.05	21.43	-13.72
HCG088-2824	20 52 31.9	-06 11 24	21.54	21.24	-13.21
HCG088-2924	20 52 38.0	-06 11 44	19.95	19.65	-14.82
HCG088-2924	20 51 59.7	-06 13 18	21.81	23.13	-12.92
HCG088-2786	20 52 22.3	-06 20 42	20.17	19.96	-14.56
HCG088-2786	20 52 47.1	-06 16 06	22.11	21.73	-12.62
HCG088-1795	20 52 04.8	-06 19 14	20.58	20.79	-14.17
HCG088-1795	20 52 14.4	-06 08 18	21.04	20.65	-13.72
HCG088-1697	20 52 05.8	-06 19 41	18.23	17.84	-16.54
HCG088-1697	20 52 17.6	-06 07 45	19.49	19.28	-15.27
HCG088-3433	20 52 45.2	-06 10 05	21.81	21.67	-12.92
HCG088-3433	20 51 59.9	-06 19 23	22.81	21.24	-11.92
HCG088-2861	20 52 51.0	-06 11 24	20.90	20.71	-13.85
HCG088-2861	20 52 32.4	-06 22 31	21.68	22.37	-13.04
HCG088-4068	20 52 35.8	-06 06 48	20.16	19.90	-14.59
HCG088-4068	20 52 34.4	-06 06 38	21.18	20.84	-13.55
HCG088-0274	20 51 49.2	-06 16 17	22.34	21.85	-12.39
HCG088-0274	20 52 19.9	-06 05 55	21.21	20.90	-13.55
HCG088-3648	20 52 41.6	-06 07 14	22.89	21.02	-11.86
HCG088-3648	20 51 47.4	-06 12 59	21.68	21.28	-13.07
HCG088-0360	20 51 47.3	-06 16 09	22.63	21.79	-12.10
HCG088-0360	20 52 10.3	-06 23 44	22.81	22.07	-11.94
HCG088-3771	20 52 15.5	-06 24 33	22.55	22.78	-12.21
HCG088-3771	20 52 08.2	-06 24 34	21.93	21.99	-12.82
HCG088-0850	20 53 05.5	-06 13 14	22.12	21.61	-12.64
HCG088-0850	20 52 20.7	-06 03 27	20.54	20.29	-14.21
HCG088-0289	20 51 38.7	-06 13 06	22.04	21.54	-12.69
HCG088-0289	20 52 48.8	-06 05 28	19.32	19.05	-15.42
HCG088-0927	20 52 54.3	-06 06 06	21.45	21.18	-13.29
HCG088-0927	20 52 06.6	-06 25 20	19.35	18.95	-15.42
HCG088-2011	20 52 06.6	-06 25 20	19.35	18.95	-15.42
HCG088-2011	20 53 08.9	-06 15 28	20.04	19.69	-14.71
HCG088-3531	20 52 35.4	-06 01 55	20.96	20.71	-13.78
HCG088-3531	20 52 27.5	-06 00 46	21.33	20.93	-13.40
HCG088-0847	20 52 51.2	-06 02 40	20.83	20.48	-13.92
HCG088-0847	20 53 22.3	-06 12 24	21.52	21.27	-13.22
HCG088-1491	20 53 22.8	-06 20 42	21.01	20.98	-13.75
HCG088-1491	20 53 21.0	-06 22 09	21.66	21.68	-13.10
HCG088-2262	20 52 58.8	-06 00 46	21.91	21.95	-12.85
HCG088-2262	20 53 28.9	-06 16 31	19.85	19.53	-14.90
HCG088-2372	20 53 30.7	-06 10 08	20.17	19.91	-14.58

Tabelle F.22: HCG088, Andere

Name	α_{2000} [hh mm ss]	δ_{2000} [° ' '']	m_r [mag]	m_i [mag]	M_R [mag]
HCG088-3102	20 52 50.7	-06 16 38	22.43	22.48	-12.34
HCG088-2039	20 52 04.5	-06 21 43	21.66	21.19	-13.11
HCG088-2039	20 53 24.9	-06 10 13	20.94	21.02	-13.83
HCG088-2954	20 52 12.9	-06 10 18	21.88	21.63	-12.90
HCG088-2954	20 52 27.7	-06 17 01	21.92	21.40	-12.85
HCG088-2412	20 53 02.7	-06 23 07	22.51	22.27	-12.27
HCG088-2412	20 51 59.7	-06 02 57	20.68	20.40	-14.10
HCG088-2586	20 52 56.6	-06 01 60	22.30	21.70	-12.49
HCG088-2586	20 53 07.7	-06 07 52	21.22	21.29	-13.57
HCG088-3081	20 52 14.6	-06 25 56	19.57	19.33	-15.22
HCG088-3081	20 53 19.7	-06 16 28	22.26	22.31	-12.54
HCG088-0540	20 53 06.3	-06 23 04	21.22	21.08	-13.57
HCG088-0540	20 52 49.2	-06 17 39	22.12	22.24	-12.68
HCG088-3208	20 51 53.9	-06 00 43	21.49	21.20	-13.31
HCG088-3208	20 52 05.8	-06 20 35	22.88	22.04	-11.93
HCG088-0536	20 51 49.7	-06 18 42	22.42	22.47	-12.41
HCG088-0536	20 53 07.7	-06 14 19	21.70	22.12	-13.14
HCG088-1746	20 52 42.7	-06 19 44	22.26	21.66	-12.60
HCG088-1746	20 52 52.4	-06 23 34	22.43	22.18	-12.45

Literaturverzeichnis

- [ACEVES und PEREA 1999] ACEVES, H. und J. PEREA (1999). *Estimating Masses in Clusters of Galaxies*. In: GIURICIN, G., M. MEZZETTI und P. SALUCCI, Hrsg.: *Observational Cosmology: The Development of Galaxy Systems*, Bd. 176 d. Reihe *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, S. 198–+.
- [ALLAM und TUCKER 2000] ALLAM, S. S. und D. L. TUCKER (2000). *Compact Groups of Galaxies in the Las Campanas Redshift Survey*. *Astronomische Nachrichten*, 321:101–114.
- [ARP 1966] ARP, H. (1966). *Atlas of Peculiar Galaxies*. *apjs*, 14:1–+.
- [ARP 1987] ARP, H. (1987). *Quasars, redshifts, and controversies*. Berkeley, CA, Interstellar Media, 1987, 204 p.
- [BAIER et al. 1974] BAIER, F. W., M. B. PETROSIAN, H. TIERSCH und R. K. SHAKHBAZIAN (1974). *Compact groups of compact galaxies. III.* *Astrofizika*, 10:327–335.
- [BAIER und TIERSCH 1978] BAIER, F. W. und H. TIERSCH (1978). *Compact groups of compact galaxies. VIII.* *Astrofizika*, 14:279–282.
- [BAIER und TIERSCH 1979] BAIER, F. W. und H. TIERSCH (1979). *Compact groups of compact galaxies. X.* *Astrofizika*, 15:33–35.
- [BARTON et al. 1996] BARTON, E., M. GELLER, M. RAMELLA, R. O. MARZKE und L. N. DA COSTA (1996). *Compact Group selection From Redshift Surveys*. *aj*, 112:871–+.
- [BASSANI et al. 1995] BASSANI, L., G. MALAGUTI und G. G. C. PALUMBO (1995). *The average Seyfert spectrum at gamma ray energies*. *Advances in Space Research*, 15:171–.
- [BATTAGLIA et al. 2004] BATTAGLIA, G., E. TOLSTOY, A. HELMI und M. IRWIN (2004). *Kinematics and metallicity relations for dwarf galaxies in the Local Group*. In: DETTMAR, R., U. KLEIN und P. SALUCCI, Hrsg.: *Baryons in Dark Matter Halos*.
- [BERTIN und ARNOUTS 1996] BERTIN, E. und S. ARNOUTS (1996). *SExtractor: Software for source extraction.* *aaps*, 117:393–404.

- [BINNEY und TREMAINE 2008] BINNEY, J. und S. TREMAINE (2008). *Galactic Dynamics: Second Edition*. Galactic Dynamics: Second Edition, by James Binney and Scott Tremaine. ISBN 978-0-691-13026-2 (HB). Published by Princeton University Press, Princeton, NJ USA, 2008.
- [BOMANS et al. 2006] BOMANS, D., E. KRUSCH, R.-J. DETTMAR, V. MUELLER und C. TAYLOR (2006). *Dwarf galaxies in Hickson Compact Groups*. ArXiv Astrophysics e-prints.
- [BOURNAUD et al. 2005] BOURNAUD, F., C. J. JOG und F. COMBES (2005). *Galaxy mergers with various mass ratios: Properties of remnants*. aap, 437:69–85.
- [BURBIDGE und BURBIDGE 1961] BURBIDGE, E. M. und G. R. BURBIDGE (1961). *Recent investigations of groups and clusters of galaxies*. Astrophysical Journal, 66:541–550.
- [CAMPOS et al. 2004] CAMPOS, P. E., C. MENDES DE OLIVEIRA und M. BOLTE (2004). *The dwarf galaxy population in two compact groups*. In: DIAFERIO, A., Hrsg.: *IAU Colloq. 195: Outskirts of Galaxy Clusters: Intense Life in the Suburbs*, S. 441–443.
- [COLEMAN et al. 1980] COLEMAN, G. D., C.-C. WU und D. W. WEEDMAN (1980). *Colors and magnitudes predicted for high redshift galaxies*. apjs, 43:393–416.
- [CONSELICE et al. 2002] CONSELICE, C. J., J. S. GALLAGHER, III und R. F. G. WYSE (2002). *Galaxy Populations and Evolution in Clusters. II. Defining Cluster Populations*. aj, 123:2246–2260.
- [COZIOL et al. 2000] COZIOL, R., A. IOVINO und R. R. DE CARVALHO (2000). *The Relation between Activity and Environment in Compact Groups of Galaxies*. aj, 120:47–67.
- [CSABAI et al. 2003] CSABAI, I., T. BUDAVÁRI, A. J. CONNOLLY, A. S. SZALAY, Z. GYÓRY, N. BENÍTEZ, J. ANNIS, J. BRINKMANN, D. EISENSTEIN, M. FUKUGITA, J. GUNN, S. KENT, R. LUPTON, R. C. NICHOL und C. STOUGHTON (2003). *The Application of Photometric Redshifts to the SDSS Early Data Release*. aj, 125:580–592.
- [DE CARVALHO et al. 1994] DE CARVALHO, R. R., A. L. B. RIBEIRO und S. E. ZEPF (1994). *Structural properties of compact groups*. apjs, 93:47–63.
- [DIAFERIO et al. 1994] DIAFERIO, A., M. J. GELLER und M. RAMELLA (1994). *The formation of compact groups of galaxies. I: Optical properties*. aj, 107:868–879.
- [DUC et al. 2000] DUC, P.-A., E. BRINKS, V. SPRINGEL, B. PICHARDO, P. WEILBACHER und I. F. MIRABEL (2000). *Formation of a Tidal Dwarf Galaxy in the Interacting System Arp 245 (NGC 2992/93)*. aj, 120:1238–1264.

- [EIGENTHALER und ZEILINGER 2005] EIGENTHALER, P. und W. W. ZEILINGER (2005). *Dwarf galaxies in the NGC 5846 group.* Astronomische Nachrichten, 326:490–491.
- [GISLER 1980] GISLER, G. R. (1980). *On the morphology of galaxies in clusters.* Astronomical Journal, 85:623–625.
- [GOVERNATO et al. 1996] GOVERNATO, F., P. TOZZI und A. CAVALIERE (1996). *Small Groups of Galaxies: A Clue to a Critical Universe.* apj, 458:18–+.
- [GREBEL 2001] GREBEL, E. K. (2001). *Dwarf Galaxies in the Local Group and in the Local Volume (Invited Talk).* In: DE BOER, K. S., R.-J. DETTMAR und U. KLEIN, Hrsg.: *Dwarf galaxies and their environment*, S. 45–+.
- [HEILIGMAN und TURNER 1980] HEILIGMAN, G. M. und E. L. TURNER (1980). *The anomalous luminosity function of galaxies in compact groups.* apj, 236:745–749.
- [HEINÄMÄKI et al. 2003] HEINÄMÄKI, P., J. EINASTO, M. EINASTO, E. SAAR, D. L. TUCKER und V. MÜLLER (2003). *The mass function of the Las Campanas loose groups of galaxies.* aap, 397:63–70.
- [HEISLER et al. 1985] HEISLER, J., S. TREMAINE und J. N. BAHCALL (1985). *Estimating the masses of galaxy groups - Alternatives to the virial theorem.* apj, 298:8–17.
- [HERNQUIST et al. 1995] HERNQUIST, L., N. KATZ und D. H. WEINBERG (1995). *Physically detached 'compact groups'.* apj, 442:57–60.
- [HICKSON 1982] HICKSON, P. (1982). *Systematic properties of compact groups of galaxies.* Astrophysical Journal, 255:382–391.
- [HICKSON 1993] HICKSON, P. (1993). *Atlas of compact groups of galaxies.* New York: Gordon and Breach Science Publishers, |c1993.
- [HICKSON 1997] HICKSON, P. (1997). *Compact Groups of Galaxies.* Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 35:357–388.
- [HICKSON 1999] HICKSON, P. (1999). *Compact Groups of Galaxies.* In: BARNES, J. E. und D. B. SANDERS, Hrsg.: *Galaxy Interactions at Low and High Redshift*, Bd. 186 d. Reihe *IAU Symposium*, S. 367–+.
- [HICKSON et al. 1988] HICKSON, P., E. KINDL und J. P. HUCHRA (1988). *Discordant redshifts in compact groups of galaxies.* apjl, 329:L65–L67.
- [HICKSON et al. 1992] HICKSON, P., C. MENDES DE OLIVEIRA, J. P. HUCHRA und G. G. PALUMBO (1992). *Dynamical properties of compact groups of galaxies.* apj, 399:353–367.

- [HOFFMAN et al. 1990] HOFFMAN, G. L., E. E. SALPETER und G. HELOU (1990). *Blue compact dwarf galaxies in Virgo and nearby groups*. In: KRON, R. G., Hrsg.: *Evolution of the Universe of Galaxies*, Bd. 10 d. Reihe *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, S. 67–69.
- [HOLWERDA 2005] HOLWERDA, B. W. (2005). *Source Extractor for Dummies v5*. ArXiv Astrophysics e-prints.
- [HUNSBERGER et al. 1996] HUNSBERGER, S. D., J. C. CHARLTON und D. ZARITSKY (1996). *The Formation of Dwarf Galaxies in Tidal Debris: A Study of the Compact Group Environment*. *apj*, 462:50–+.
- [HUNSBERGER et al. 2000] HUNSBERGER, S. D., J. C. CHARLTON und D. ZARITSKY (2000). *The Luminosity Function of Galaxies in Compact Groups*. In: VALTONEN, M. J. und C. FLYNN, Hrsg.: *IAU Colloq. 174: Small Galaxy Groups*, Bd. 209 d. Reihe *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, S. 81–+.
- [IOVINO und HICKSON 1997] IOVINO, A. und P. HICKSON (1997). *Discordant redshifts in compact groups*. *mnras*, 287:21–25.
- [JEDRZEJEWSKI et al. 1987] JEDRZEJEWSKI, R. I., R. L. DAVIES und G. D. ILLINGWORTH (1987). *CCD surface photometry of the bright elliptical galaxies NGC 720, NGC 1052, and NGC 4697*. *aj*, 94:1508–1518.
- [KARACHENTSEV et al. 2005] KARACHENTSEV, I. D., V. E. KARACHENTSEVA und M. E. SHARINA (2005). *Dwarf spheroidal galaxies in nearby groups imaged with HST*. In: JERJEN, H. und B. BINGGELI, Hrsg.: *IAU Colloq. 198: Near-fields cosmology with dwarf elliptical galaxies*, S. 295–302.
- [KRUSCH et al. 2003] KRUSCH, E., D. J. BOMANS und R.-J. DETTMAR (2003). *The Dwarf Galaxy Population of Hickson Compact Groups*. *Astronomische Nachrichten Supplement*, 324:45–+.
- [KRUSCH et al. 2006] KRUSCH, E., D. ROSENBAUM, R.-J. DETTMAR, D. J. BOMANS, C. L. TAYLOR, G. ARONICA und T. ELWERT (2006). *The faint end luminosity function of compact galaxy groups*. *aap*, 459:759–762.
- [LEE et al. 2004] LEE, B. C., S. S. ALLAM, D. L. TUCKER, J. ANNIS, D. E. JOHNSTON, R. SCRANTON, Y. ACEBO, N. A. BAHCALL, M. BARTELMANN, H. BÖHRINGER, N. ELLMAN, E. K. GREBEL, L. INFANTE, J. LOVEDAY, T. A. MCKAY, F. PRADA, D. P. SCHNEIDER, C. STOUGHTON, A. S. SZALAY, M. S. VOGLEY, W. VOGES und B. YANNY (2004). *A Catalog of Compact Groups of Galaxies in the SDSS Commissioning Data*. *A abs*, 127:1811–1859.
- [LISKER et al. 2005] LISKER, T., E. K. GREBEL und B. BINGGELI (2005). *The colours of Virgo dEs as seen by SDSS*. In: JERJEN, H. und B. BINGGELI, Hrsg.: *IAU Colloq. 198: Near-fields cosmology with dwarf elliptical galaxies*, S. 311–315.
- [MAMON 1986] MAMON, G. A. (1986). *Are compact groups of galaxies physically dense?*. *apj*, 307:426–430.

- [MAMON 1995] MAMON, G. A. (1995). *Compact Groups: Observations and Theories*.
- [McCONNACHIE et al. 2008] McCONNACHIE, A., D. PATTON, S. ELLISON und L. SIMARD (2008). *Compact groups in theory and practice - III. Compact groups of galaxies in the Sixth Data Release of the Sloan Digital Sky Survey*. ArXiv e-prints.
- [MENDES DE OLIVEIRA und BOLTE 1999] MENDES DE OLIVEIRA, C. und M. BOLTE (1999). *The Dwarf Galaxy Population of the Hickson Compact Group 68*. In: GIURICIN, G., M. MEZZETTI und P. SALUCCI, Hrsg.: *Observational Cosmology: The Development of Galaxy Systems*, Bd. 176 d. Reihe *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, S. 122–+.
- [MENDES DE OLIVEIRA und HICKSON 1991] MENDES DE OLIVEIRA, C. und P. HICKSON (1991). *The luminosity function of compact groups of galaxies*. *apj*, 380:30–38.
- [MENDES DE OLIVEIRA und CARRASCO 2007] MENDES DE OLIVEIRA, C. L. und E. R. CARRASCO (2007). *The Compact Group-Fossil Group Connection: Observations of a Massive Compact Group at $z=0.22$* . *apj*, 670:L93–L96.
- [OYAIZU et al. 2008] OYAIZU, H., M. LIMA, C. E. CUNHA, H. LIN, J. FRIEMAN und E. S. SHELDON (2008). *A Galaxy Photometric Redshift Catalog for the Sloan Digital Sky Survey Data Release 6*. *apj*, 674:768–783.
- [PAPADEROS et al. 1996] PAPADEROS, P., H.-H. LOOSE, T. X. THUAN und K. J. FRICKE (1996). *Optical structure and star formation in blue compact dwarf galaxies. I. Observations and profile decomposition..* *aaps*, 120:207–228.
- [PETROSIAN 1974] PETROSIAN, M. B. (1974). *Compact groups of compact galaxies. IV*. *Astrofizika*, 10:471–476.
- [PETROSIAN 1978] PETROSIAN, M. B. (1978). *Compact groups of compact galaxies. IX..* *Astrofizika*, 14:631–635.
- [PRANDONI et al. 1994] PRANDONI, I., A. IOVINO und H. T. MACGILLIVRAY (1994). *Automated search for compact groups of galaxies in the southern sky*. *aj*, 107:1235–1244.
- [RIBEIRO et al. 1994] RIBEIRO, A. L. B., R. R. DE CARVALHO und S. E. ZEPF (1994). *The luminosity function of galaxies in compact groups*. *mnras*, 267:L13–L16.
- [ROOD und STRUBLE 1994] ROOD, H. J. und M. F. STRUBLE (1994). *Spatial coincidence between a number of Hickson compact groups and loose groups or clusters*. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 106:413–416.
- [ROSE 1977] ROSE, J. A. (1977). *A survey of compact groups of galaxies..* *Astrophysical Journal*, 211:311–318.

- [RUBIN et al. 1991] RUBIN, V. C., D. A. HUNTER und W. K. J. FORD (1991). *Optical properties and dynamics of galaxies in the Hickson compact groups*. *Astrophysical Journal*, 76:153–183.
- [SANDAGE 1986] SANDAGE, A. (1986). *The redshift-distance relation. IX - Perturbation of the very nearby velocity field by the mass of the Local Group*. *apj*, 307:1–19.
- [SCHECHTER 1976] SCHECHTER, P. (1976). *An analytic expression for the luminosity function for galaxies..* *apj*, 203:297–306.
- [SECKER et al. 1997] SECKER, J., W. E. HARRIS und J. D. PLUMMER (1997). *Dwarf Galaxies in the Coma Cluster. II. Photometry and Analysis*. *pas*, 109:1377–1393.
- [SEYFERT 1948] SEYFERT, C. K. (1948). *Five thousand external galaxies and a new dense group..* *aj*, 53:203–+.
- [SHAKHBAZIAN 1973] SHAKHBAZIAN, R. K. (1973). *Compact groups of compact galaxies..* *Astrofizika*, 9:495–501.
- [SHAKHBAZIAN und PETROSIAN 1974] SHAKHBAZIAN, R. K. und M. B. PETROSIAN (1974). *Compact groups of compact galaxies. II..* *Astrofizika*, 10:13–20.
- [SMITH et al. 2002] SMITH, J. A., D. L. TUCKER, S. KENT, M. W. RICHMOND, M. FUKUGITA, T. ICHIKAWA, S.-I. ICHIKAWA, A. M. JORGENSEN, A. UOMOTO, J. E. GUNN, M. HAMABE, M. WATANABE, A. TOLEA, A. HENDEN, J. ANNIS, J. R. PIER, T. A. MCKAY, J. BRINKMANN, B. CHEN, J. HOLTZMAN, K. SHIMASAKU und D. G. YORK (2002). *The u'g'r'i'z' Standard-Star System*. *aj*, 123:2121–2144.
- [STEPHAN 1877] STEPHAN, M. (1877). *Nebulae (new) discovered and observed at the observatory of Marseilles, 1876 and 1877, M. Stephan*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 37:334.
- [SULENTIC 1987] SULENTIC, J. W. (1987). *Properties of dense galaxy groups and the implications of their existence*. *apj*, 322:605–617.
- [TEMPORIN et al. 2003] TEMPORIN, S., R. WEINBERGER, G. GALAZ und F. KERBER (2003). *Candidate Tidal Dwarf Galaxies in the Compact Group CG J1720-67.8*. *apj*, 587:660–671.
- [TOVMASSIAN et al. 2006] TOVMASSIAN, H., M. PLIONIS und J. P. TORRESPAPAQUI (2006). *Physical properties of Hickson compact groups and of the loose groups within which they are embedded*. *aap*, 456:839–846.
- [TOVMASSIAN et al. 2002] TOVMASSIAN, H. M., V. H. CHAVUSHYAN, O. MARTINEZ, O. YAM und H. TIERSCH (2002). *Dynamics of Hickson Compact Groups of Galaxies*. In: ROSADA, M., L. BINETTE und L. ARIAS, Hrsg.: *Galaxies: the Third Dimension*, Bd. 282 d. Reihe *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, S. 262–+.

- [VAN DEN BERGH 1992] VAN DEN BERGH, S. (1992). *The luminosity function of the Local Group*. aap, 264:75–+.
- [VENNIK et al. 1993] VENNIK, J., G. M. RICHTER und G. LONGO (1993). *The Neighbourhoods of the Nearest Hickson Groups*. Astronomische Nachrichten, 314:393–+.
- [VORONTSOV-VELYAMINOV 1959] VORONTSOV-VELYAMINOV, B. A. (1959). *"Atlas and Catalog of Interacting Galaxies", 1959, Sternberg Institute, Moscow: Moscow State University*. In: VV, S. 0–+.
- [WILLIAMS und ROOD 1987] WILLIAMS, B. A. und H. J. ROOD (1987). *Neutral hydrogen in compact groups of galaxies*. Astrophysical Journal, 63:265–294.
- [YANG et al. 2007] YANG, X., H. J. MO, F. C. VAN DEN BOSCH, A. PASQUALI, C. LI und M. BARDEN (2007). *Galaxy Groups in the SDSS DR4. I. The Catalog and Basic Properties*. apj, 671:153–170.
- [YORK et al. 2000] YORK, D. G., J. ADELMAN, J. E. ANDERSON, JR., S. F. ANDERSON, J. ANNIS, N. A. BAHCALL, J. A. BAKKEN, R. BARKHOUSER, S. BASTIAN, E. BERMAN, W. N. BOROSKI, S. BRACKER, C. BRIEGEL, J. W. BRIGGS, J. BRINKMANN, R. BRUNNER, S. BURLES, L. CAREY, M. A. CARR, F. J. CASTANDER, B. CHEN, P. L. COLESTOCK, A. J. CONNOLLY, J. H. CROCKER, I. CSABAI, P. C. CZARAPATA, J. E. DAVIS, M. DOI, T. DOMBECK, D. EISENSTEIN, N. ELLMAN, B. R. ELMS, M. L. EVANS, X. FAN, G. R. FEDERWITZ, L. FISCELLI, S. FRIEDMAN, J. A. FRIEMAN, M. FUKUGITA, B. GILLESPIE, J. E. GUNN, V. K. GURBANI, E. DE HAAS, M. HALDEMAN, F. H. HARRIS und J. HAYES (2000). *The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary*. aj, 120:1579–1587.
- [ZABLUDOFF und MULCHAEY 1998] ZABLUDOFF, A. I. und J. S. MULCHAEY (1998). *The Properties of Poor Groups of Galaxies. I. Spectroscopic Survey and Results*. apj, 496:39–+.
- [ZEPF 1993] ZEPF, S. E. (1993). *The frequency of mergers in compact groups*. apj, 407:448–455.
- [ZWICKY 1956] ZWICKY, F. (1956). *Multiple Galaxies*. Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, 29:344–385.
- [ZWICKY et al. 1961] ZWICKY, F., E. HERZOG und P. WILD (1961). *Catalogue of galaxies and of clusters of galaxies*. Pasadena: California Institute of Technology (CIT), |c1961.

Lebenslauf

Mathias Jäger

31. Jänner 1983

Bad Ischl, Oberösterreich

Schulbildung

1989-1993

Volksschule Pfandl

1993-2001

Neusprachliches Gymnasium Bad Ischl

18. Juni 2001

Matura am Gymnasium Bad Ischl

Präsenzdienst

Oktober 2001- Mai 2002

Präsenzdienst in der Schwarzenbergkaserne
Wals-Siezenheim

Universitätslaufbahn

WS 2002/03

Beginn des Astronomiestudiums
an der Universität Wien

23.03.2006

Abschluss des Bakkalaureatsstudiums
der Astronomie an der Universität Wien

November 2006

Beginn der Diplomarbeit